

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Racionalizace výroby dílců v procesu obrábění

Rationalization of Manufacturing Parts in the Machining Process

Student:

Lukáš Kučera

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Zlámal

Konzultant:

Ing. Václav Šlitr

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Kučera**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Racionalizace výroby dílců v procesu obrábění**
Rationalization of Manufacturing Parts in the Machining Process

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu postupu výroby.
2. Návrh technologického postupu výroby.
3. Ověření technologického postupu ve výrobě.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] WHITNEY, Daniel E. *Mechanical Assemblies : Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2004. 518. p. ISBN 0-19-515782-6.

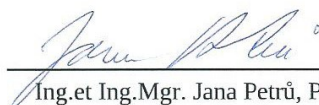
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Zlámal**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě dne 15. 5. 2014


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15. 5. 2014


.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Lukáš Kučera

Adresa trvalého pobytu autora práce: Žerotínova 51, Litovel, 784 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KUČERA, L. *Racionalizace výroby dílců v procesu obrábění: Bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 55 s. Vedoucí práce: Ing. Zlámal, T.

Bakalářská práce se zabývá racionalizací výroby dílce difuzoru v podmínkách firmy Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. Jedná se především o návrh nových řezných nástrojů vhodných pro obrábění niklových slitin a stanovení nových řezných podmínek. Nejprve je popsána problematika obrábění niklových slitin a druhy vhodných řezných nástrojů. V praktické části je proveden rozbor stávající výroby a následně navrženy nové řezné nástroje pro vybrané soustružnické operace. Vybrány byly keramické VBD, které umožňují větší řezné rychlosti a tím zvyšují produktivitu výroby. V závěru bylo provedeno ekonomické zhodnocení, kde byla porovnána stávající a nově navržená výroba z hlediska výrobních časů a nákladů, pro každou operaci zvlášť.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KUČERA, L. *Rationalization of Manufacturing Parts in the Machining Process: Bachelor thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2014, 55 pages. Thesis head: Ing. Zlámal, T.

The bachelor thesis deals with rationalization of an air funnel part manufacture at Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. The accent is on proposal of new cutting tools suitable for machining of nickel alloys and determination of new cutting conditions. In the first part the problems of machining nickel alloys and the types of suitable cutting tools are described. In the technical part the current production is analyzed a subsequently new cutting tools for selected turning operations are proposed. As tools replaceable ceramic cutting tips are chosen that allow higher cutting speeds and thus the productivity of production can be enhanced. In the final part the economic assessment is performed where the current production is compared with the newly proposed one from the point of view of manufacturing times and costs, for each operation separately.

Obsah

Seznam použitého označení	8
Úvod.....	10
1 Charakteristika společnosti Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o.	11
2 Superslitiny	12
2.1 Charakteristika niklových slitin	12
2.2 Obrobitelnost niklových slitin	13
2.3 Obrábění niklových slitin soustružením	14
2.3.1 Nástroje pro soustružení a jejich geometrie	14
2.3.2 Pracovní prostředí.....	16
3 Přehled řezných materiálů pro soustružení	17
3.1 Druhy řezných materiálů	18
3.2 Rozdělení řezných materiálů dle normy ČSN ISO 513	21
4 Rozbor stávající technologie výroby.....	23
4.1 Charakteristika výrobního stroje.....	23
4.2 Nástroje stávající výroby	26
4.3 Obráběná součást	31
4.3.1 Charakteristika materiálu Inconel Alloy 718	31
4.4 Technologický sled operací výroby	32
5 Návrh nové technologie výroby	33
5.1 Volba výrobního stroje	33
5.1.1 Upnutí obrobku na výrobním stroji	33
5.1.2 Použití procesní kapaliny	35
5.2 Volba řezných nástrojů	35
5.2.1 Stanovení typu destiček	35
5.2.2 Volba řezných parametrů pro nově zvolené nástroje	36
5.2.3 Řezné nástroje pro operaci 100	38

5.2.4	Řezné nástroje pro operaci 150	40
5.2.5	Řezné nástroje pro operaci 300	42
5.2.6	Celkový přehled nově navržených nástrojů	43
5.3	Technologický postup pro dané operace výroby	44
6	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	46
6.1	Porovnání nákladů stávající a nově navržené výroby.....	46
6.1.1	Porovnání nákladů operace 100.....	47
6.1.2	Porovnání nákladů operace 150.....	47
6.1.3	Porovnání nákladů operace 300.....	49
6.2	Celkové výsledky úspor nově navržené výroby	50
Závěr.....		51
Poděkování.....		52
Seznam použité literatury.....		53

Seznam použitého označení

Označení	Význam	Jednotka
A	tažnost	[%]
Al ₂ O ₄	oxid hlinitý	[-]
CVD	chemické nanášení povlaku (Chemical Vapor Deposition)	[-]
CNC	číslicové řízení počítačem (Computer Numeric Control)	[-]
D	průměr	[mm]
HRSA	tepelně odolné superslitiny (Heat resistant super alloys)	[-]
HV	tvrdost podle Vickerse	[-]
KNB	kubický nitrid bóru	[-]
L	délka	[mm]
M	šířka	[mm]
NbC	karbid niobu	[-]
PVD	fyzikální nanášení povlaku (Physical Vapour Deposition)	[-]
R	rádus	[mm]
R _ε	rádus špičky nástroje	[mm]
R _e	mez kluzu	[MPa]
R _m	mez pevnosti	[MPa]
RO	rychlořezná ocel	[-]
ŘK	řezná keramika	[-]

SiAlON	nitridová keramika (oxid-nitrid hlinito-křemičitý)	[-]
Si ₃ N ₄	nitrid křemíku	[-]
SK	slinutý karbid	[-]
TaC	karbid tantalu	[-]
TiAlN	nitridová keramika (nitrid hlinito-titaničitý)	[-]
TiC	karbid titanu	[-]
TiN	nitrid titanu	[-]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
a _p	hloubka řezu	[mm]
b	šířka	[mm]
f _l	délka	[mm]
f	posuv	[mm]
h	výška	[mm]
l _l	délka	[mm]
v _c	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
s	šířka	[mm]
α	úhel hřbetu	[°]
γ	úhel čela	[°]
γ _o	úhel čela v rovině ortogonální	[°]
γ _p	úhel čela v rovině zadní	[°]
κ _r	úhel nastavení hlavního ostří	[°]
λ _s	úhel sklonu hlavního ostří	[°]

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou racionalizace obrábění leteckého dílce. Práce je řešena pro firmu Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. Zadaný dílec je zhotoven z niklové slitiny. Tento materiál je znám především svými vynikajícími mechanickými vlastnostmi, které však mají za následek horší obrobiteľnosť než je u běžných ocelí. Ta je zapříčiněna hlavně vysokou teplotou vznikající při obrábění na břitů nástroje kvůli nízké tepelné vodivosti, velkým sklonem k adhezi a vysokou schopností k deformačnímu zpevnění.

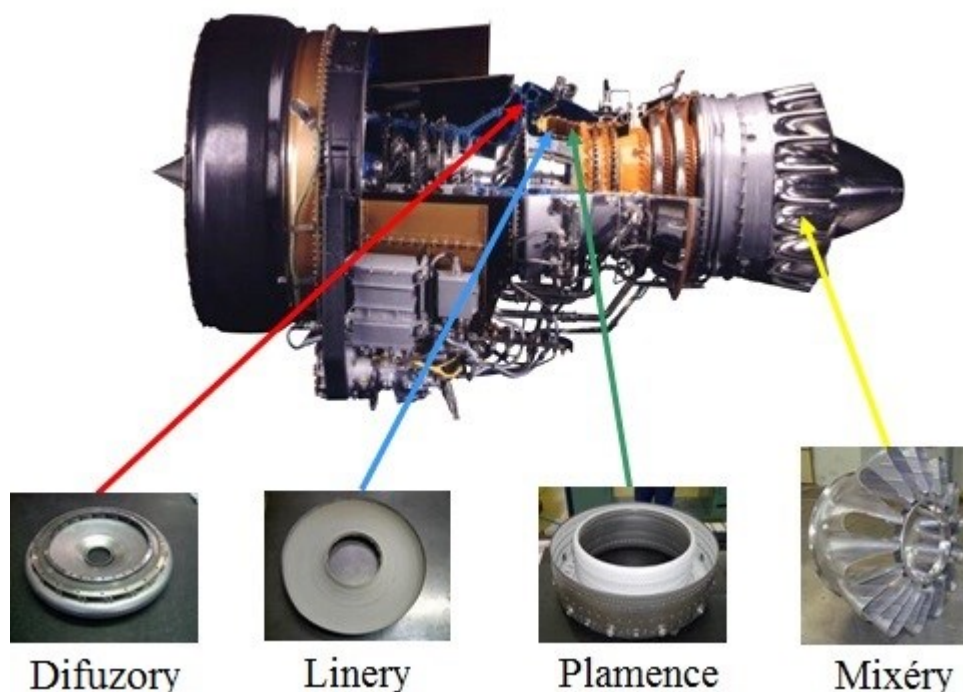
Racionalizace výroby je proces, při kterém se mění, či upravují určité aspekty stávající výroby, za účelem zefektivnění výrobního procesu, např. z hlediska časové a finanční úspory. Mezi aspekty racionalizace výrobního procesu obrábění patří především úprava technologického postupu, změna obráběcího stroje, volba druhu nástroje, řezného materiálu a řezných podmínek. Těmito aspekty je dosaženo lepšího využití stroje, které je velmi důležité z hlediska produktivity a finanční prosperity výrobních podniků. Racionalizace je v dnešní době neodmyslitelnou součástí moderní automatizované výroby, kterou lze využít, jak na číslicově řízené, tak i na starší konvenční obráběcí stroje. Mimo jiné je jedním ze základních prvků pro konkurenceschopnost výrobních podniků. [1]

Cílem bakalářské práce je racionalizace výroby zadaného dílce se zaměřením na vybrané operace soustružení. Jedná se především o návrh nových řezných nástrojů, tzn. břitových destiček, které jsou určeny pro obrábění niklových slitin, a to včetně nových držáků. Na základě návrhu řezných nástrojů budou stanoveny nové řezné podmínky za účelem zkrácení výrobních časů zadaného dílce a zlepšení produktivity práce.

1 Charakteristika společnosti Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o.

Společnost Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o., která sídlí v Olomouckém kraji v Hlubočkách – Mariánském Údolí, je součástí nadnárodní společnosti Honeywell International Inc. (dále jen „Honeywell“). Ta je předním světovým výrobcem a leaderem v oblasti moderních technologií v různých oborech. Mezi tyto patří oblasti letectví, dopravních systémů, automatizace a řízení, chemického a vojenského průmyslu. Společnost Honeywell International Inc., s hlavním sídlem v USA – Phoenix v Arizoně, má v současné době v České republice tři pobočky v Praze, Brně a Olomouci. [13]

Do společnosti Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o., se soustřeďují aktivity především z oblasti letectví. Zde se vyrábí a opravují statické plechové a žárové díly leteckých turbínových motorů a energetických jednotek z nerezavějících ocelí a speciálních hliníkových, niklových, kobaltových a titanových slitin. Vyrobené komponenty lze nalézt v pohonných jednotkách předních výrobců letadel, jako je Boeing, Airbus, Bombardier a další. [11]



Obr. 1.1 Dílce vyráběné společností Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. [11]

2 Superslitiny

Technický pokrok žádá vývoj a použití nových materiálů s co nejlepšími vlastnostmi. Superslitiny jsou tvořeny zejména na bázi Ni, Ti a Co. Tyto tři materiály se používají i v těch nejextrémnějších podmínkách a jejich využití je velmi podobné. Superslitiny se dělí do dvou hlavních skupin, na korozivzdorné a žárovevné. Žárovevné niklové a titanové slitiny našly uplatnění především v leteckém a kosmickém průmyslu. Tam, kde jsou oceli kvůli svým vlastnostem nedostačující. [2]

Slitiny niklu a titanu jsou charakteristické poměrně vysokou pevností a houževnatostí, kterou dokáží tyto materiály zachovat i za vysokých teplot (nad 700°C). Celkově mají vynikající mechanické vlastnosti, které však mají za následek horší obrobitelnost. Výrobní společnosti často tají postup výroby součástí z těchto slitin, aby zajistily lepší konkurenceschopnost firmy. [2]

2.1 Charakteristika niklových slitin

Slitiny niklu mají všeobecně vyšší pevnost, tvrdost a jsou houževnatější než většina slitin neželezných kovů a řada ocelí. Jejich cena je však poměrně vysoká v porovnání s ostatními materiály. Jsou však levnější než slitiny z titanu. Niklové slitiny se řadí především do žárovevných a žáruvzdorných materiálů. Žárovevnost značí schopnost materiálu odolávat vysokoteplotní korozi. Žáruvzdornost je odolnost materiálu vůči vysokým teplotám při současném namáhání.[2]

Hlavní přísady niklových superslitin lze rozdělit do 4 skupin: [2]

- chrom (Cr), který zvyšuje žáruvzdornost niklových superslitin,
- kobalt (Co), který zvyšuje především žárovevnost niklových superslitin (zvyšuje jejich rekrytalizační teplotu),
- hliník (Al) a titan (Ti), které vytváří precipitáty a umožňují tak vytvrditelnost niklových superslitin,
- molybden (Mo) a wolfram (W), které tvoří karbidy a ty zvyšují žárovevnost.

Niklové slitiny se používají pro ty nejnáročnější strojní aplikace, mezi které patří zejména letecké proudové motory. U nich jsou kladeny speciální požadavky na materiál, jako je nízká hmotnost, odolnost proti korozi a stálé chemické a mechanické vlastnosti za vysokých teplot. V leteckém průmyslu je v současné době trendem použití vysokolegovaných vytvrditelných slitin niklu. Dále se niklové slitiny používají v chemickém průmyslu pro svoji odolnost proti agresivnímu prostředí. Vlastnosti jednotlivých typů niklových slitin jsou závislé na chemickém složení a způsobu tepelného zpracování, mezi které patří zejména: [2]

- žíhání, které má za důsledek zlepšení obrobitelnosti a odstranění případného napětí po odlévání a tváření materiálu
- stárnutí (precipitační zpevnění), zvyšuje plasticitu a zmenšuje tepelnou křehkost materiálu, ale za rizika mírné ztráty pevnostních vlastností.

2.2 Obrobitelnost niklových slitin

Pojmem obrobitelnost materiálu je označován jako souhrn vlastností obráběného materiálu z hlediska jeho vhodnosti na výrobu součástí konkrétním způsobem obrábění. Tento aspekt je pak vyhodnocen kvalitativním a ekonomickým výsledkem procesu obrábění. Špatná obrobitelnost niklových slitin je zapříčiněna malou tepelnou vodivostí, vysokým sklonem k adhezi a vysokou schopností k deformačnímu zpevnění (tzv. samovytvrzení). Obecně je obrobitelnost materiálu ovlivňována řadou faktorů, mezi které patří zejména: [3]

- fyzikálně-mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- chemické složení,
- způsob výroby a tepelného zpracování,
- mikrostruktura.

Niklové slitiny se řadí do těžkoobrobitelných materiálů. Podle Bumbálka [4] jsou těžkoobrobitelné materiály podrobněji dělené do 9 skupin, přičemž superslitiny niklu jsou zařazeny do těchto dvou skupin:

- VI. Žárupevné a žáruvzdorné slitiny na bázi niklu a železa
- VII. Žáruvzdorné slitiny na bázi niklu

2.3 Obrábění niklových slitin soustružením

Soustružení je představitel klasické metody třískového obrábění pro výrobu převážně rotačních tvarů. Při obrábění niklových slitin se potýká, oproti obrábění standartních materiálů, s větším počtem komplikací. Jak už bylo zmíněno, kvůli horší obrobiteľnosti se niklové slitiny řadí do kategorie těžkoobrobiteľných materiálů. Zhoršení obrobiteľnosti je zapříčiněna hlavně vysokou teplotou vznikající při obrábění na břitu nástroje. [5], [3]

Obrábění niklových slitin soustružením je obdobné, jako u korozi-vzdorných materiálů. Jedním z nejvýznamnějších problémů je tvorba nárůstku na břitu nástroje. Ten má vliv na zvýšenou teplotu v místě řezu a ovlivňuje geometrii nástroje, což negativně ovlivňuje kvalitu obrobeného povrchu. [3]

Kvůli těmto výše zmíněným příčinám zhoršené obrobiteľnosti nelze obrábět niklové slitiny pomocí řezných podmínek, které jsou běžné pro standartní obráběné materiály (např. oceli). Hlavní změnou v řezných podmínkách je především řezná rychlost, která musí být značně nižší, jak u běžných obráběných materiálů. To má za důsledek prodloužení strojních časů při obráběcím procesu. Další důležité nastavení řezných podmínek je hodnota posuvu a hloubky řezu. Ty nesmí být voleny moc malé, neboť vzniká riziko zpevňování povrchové vrstvy materiálu.

2.3.1 Nástroje pro soustružení a jejich geometrie

Obráběcí řezný nástroj, jako aktivní prvek v soustavě obrábění, umožňuje samotnou realizaci výroby řezným procesem. Řezání je uskutečňováno pracovní částí nástroje tj. břitem, který vniká do materiálu obrobku a odděluje jeho část v podobě třísky. Jednotlivé řezné nástroje se volí s ohledem na požadovanou obráběcí operaci a vlastnosti, kterou daná situace vyžaduje. Hlavním prvkem nástroje, který nejvíce ovlivňuje jeho funkčnost, je především druh řezného materiálu a geometrie nástroje. [5]

Mezi materiály vhodné pro obrábění niklových slitin patří slinutý karbid (SK), řezná keramika (ŘK) a kubický nitrid bóru (KNB). Lze využít i nástroje z rychlořezné oceli (RO), ale jejich využití je velmi malé (nejčastěji pro přerušované řezy). Rychlořezná ocel je omezená především nedostatečnou odolností vůči velkým teplotám vznikajícím při obrábění. Dále jsou omezeny nízkými řeznými rychlostmi, což je z hlediska produktivity nevýhodné. Tyto a další informace o řezných materiálech jsou podrobněji popsány ve 3. kapitole. [3]

Pro obrábění superslitin je volba geometrie řezného nástroje velmi důležitá. Geometrie nástroje musí splňovat požadavky, jako je dostatečná pevnost řezného klínu (pro pozvolnou tvorbu a odchod třísky), minimalizaci chvění nástroje a maximální trvanlivost nástroje. Geometrické parametry jsou charakterizovány pomocí nástrojových úhlů. Nástrojové úhly jsou důležité pro určení geometrické polohy ostří, čela a hřbetu. [6]

Pro volbu vhodné geometrie nástroje je potřebné zohlednit i technologické požadavky na přesnost a kvalitu obrobeného povrchu výsledného výrobku. Pro každý materiál obrobku může být odlišná geometrie. Obecně se volí u soustružnických nástrojů pro niklové slitiny pozitivní geometrie z důvodu efektivní řezivosti nástroje (tj. schopnost materiálu efektivně odebrat třísku). Negativní geometrie nezpůsobuje zcela správné odřezávání třísky, protože materiál je spíše odtrháván. Z tohoto důvodu je využití negativní geometrie omezené převážně pro hrubování, kde není takový důraz na kvalitu obrobeného povrchu. Vhodná geometrie pro soustružení niklových slitin je uvedena v tabulce (Tab. 2.1). [7]

Tab. 2.1 Vhodná geometrie nástroje [7]

Úhel	Hrubování	Dokončování
Úhel hřbetu (α)	0°	8°
Úhel čela (γ)	6°	8°
Úhel sklonu hlavního ostří (λ_s)	6°	8°
Úhel nastavení hlavního ostří (κ_r)	do 45°	do 45°

Do geometrie nástroje patří i pojem lamač a utvařec třísky. Lamač třísky se používá především pro nástroje z rychlořezné oceli a zabezpečuje dobré odvedení třísky, co má za důsledek snížení počtu přerušení během obráběcího procesu. Lamač a utvařec třísky slouží prakticky ke stejnému účelu. Rozdíl je pouze v tom, že lamač je mechanicky upnut na nástroji, zatím co utvařec je vybroušen nebo předlisován nejčastěji na VBD. [3]

Geometrie řezného klínu má také vliv na druh a velikost opotřebení nástroje. To se při obrábění niklových slitin mění v závislosti na zvolených řezných podmínkách, řezného materiálu a typu operace. Mezi základní typy opotřebení především u vyměnitelných břitových destiček patří opotřebení hřbetu, vrubové opotřebení a tvorba nárůstku. [3]

2.3.2 Pracovní prostředí

Pro obrábění superslitin bývá všeobecně doporučeno použití procesní kapaliny. Ta dovoluje zejména použití vyšších řezných rychlostí, zlepšuje kvalitu opracovaného povrchu, prodlužuje trvanlivost a životnost řezného nástroje. Během obrábění vzniká zpevněná tříska, která se obtížně formuje a těžce se odvádí z místa řezu. Proto se u superslitin často využívá vysokotlakého (až 7 MPa) a velkoobjemového chlazení. Z rozmanitých typů procesních kapalin jsou nejvhodnější chladicí emulze a řezné oleje. [2]

Při používání procesní kapaliny je velmi důležité, aby byla přiváděna průběžně, a co nejbližší řezné hrany nástroje v místě řezu. Tato podmínka umožňuje využití veškerých výhod, které procesní kapaliny poskytují: [12]

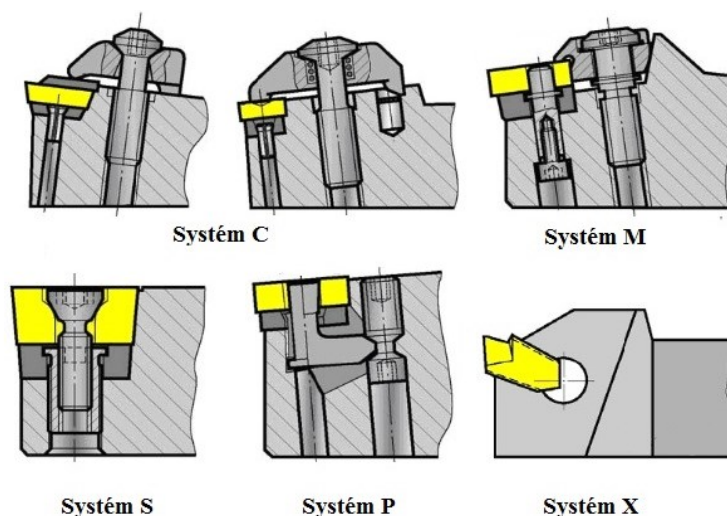
- chladicí účinek odvádějící teplo z místa řezu,
- mazací účinek, který má vliv na jakost povrchu (tj. drsnost, tvrdost atd.),
- čistící účinek, který napomáhá lámání a odstraňování třísek z místa řezu.

Procesní kapaliny jsou hned po řezném materiálu a geometrie nástroje nejvýraznější prvkem, který ovlivňuje produktivitu a ekonomiku obrábění. Je velmi důležité zvážit a vybrat vhodnou procesní kapalinu, protože v obráběcím procesu zahrnuje 10 – 20 % celkových nákladů. [12]

3 Přehled řezných materiálů pro soustružení

Řezné nástroje jsou ovlivňovány různými faktory, jako je metoda obrábění, řezné podmínky, typ obráběného materiálu, či charakter řezného prostředí. Podle těchto a dalších faktorů určujeme, jaké materiály pro řezné nástroje budou použity pro danou operaci výroby. [5]

Pro CNC soustružení jsou nejčastěji řezné nástroje skládány z držáku a vyměnitelné břitové destičky (VBD). Výhoda tohoto uspořádání je především v tom, že drahý řezný materiál je soustředěn pouze do malé břitové destičky, která se dá po skončení své životnosti lehce vyměnit za novou. Podle konstrukčního provedení mají VBD odlišné typy upínání a různou geometrii pro danou obráběcí operaci. Typy upínání se liší podle tvaru a provedení VBD, především zda se jedná o destičku s otvorem nebo bez otvoru. V dnešní době se nejčastěji používá pět typů upínacích systémů břitových destiček, které lze vidět na Obr. 3.1. [5]



Obr. 3.1 Typy upínacích systémů pro vyměnitelné břitové destičky[5]

V blízké době se nepředpokládá nalezení nového převratného řezného materiálu. Proto se vývoj směřuje z hlediska nástrojů především k úpravám geometrie břitu, utvařeče třísky nebo k vylepšování povlaků. Zatím neexistuje řezný materiál, který by perfektně splňoval veškeré požadavky pro širokou škálu obráběcích operací, a proto je nutné pečlivě vybírat materiály, podle jejich specifických vlastností, pro jednotlivé typy obrábění. [5]

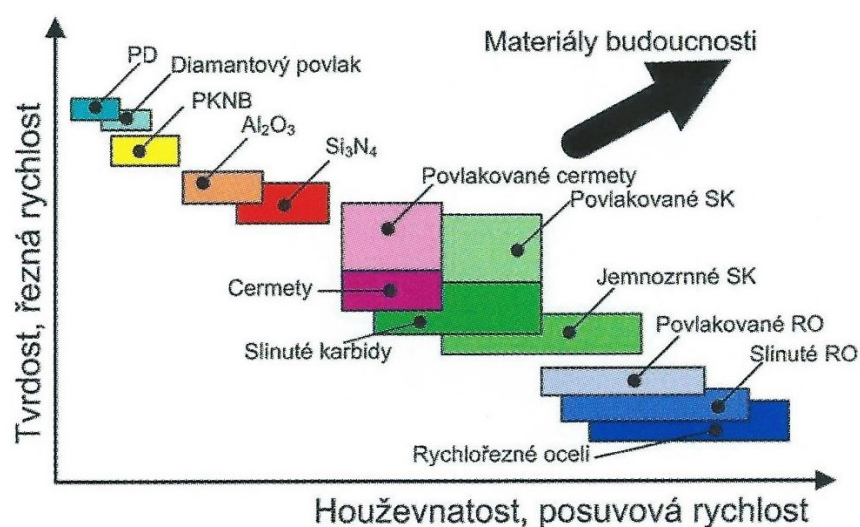
3.1 Druhy řezných materiálů

Při obrábění niklových slitin dochází k velkému mechanickému a tepelnému namáhání bříty nástroje, které vede k jeho otupování a může vést k úplné destrukci nástroje. Jelikož mají řezné materiály rozhodující vliv na produktivitu obráběcího procesu a kvalitu opracovaného povrchu, je patrné, že požadavky na řezné materiály neustále rostou. Požadavky na řezné materiály pro obrábění niklových slitin jsou: [2]

- vysoká pevnost a houževnatost,
- vysoká pevnost při vysokých teplotách,
- chemická stabilita
- odolnost proti otěru,
- odolnost vůči tepelným rázům,
- vysoká řezivost.

Každý řezný materiál je vhodný pouze pro určitou aplikaci v obráběcím procesu. Neexistuje žádný řezný materiál, který by byl vhodný pro obrábění všech typů materiálů a obráběcích operací. Pro nástroje s definovanou geometrií se nejčastěji používají následující materiály: [6]

- rychlořezné oceli (RO),
- řezná keramika (ŘK),
- slinuté karbidy (SK),
- kubický nitrid bóru (KNB)
- cermety (ceramic and metal),
- polykrystalický diamant (PD).



Obr. 3.2 Vliv mechanických vlastností nástrojových materiálů na pracovní podmínky [8]

Na obrázku (Obr. 3.2) jsou znázorněné oblasti využití řezných materiálů. Ze schématu vyplývá, že současné materiály jsou schopny pracovat buď s vysokými řeznými rychlostmi, nebo vysokými posuvy. Spojení těchto dvou vlastností je zatím otázka budoucnosti. Pro obrábění niklových slitin, jak už bylo zmíněno ve 2. kapitole, jsou vhodné především materiály slinutý karbid, řezná keramika a kubický nitrid bóru. Z těchto typů materiálů budou navrženy nástroje pro novou technologii výroby zadaného dílce.

Slinutý karbidy (SK)

Tento druh řezného materiálu je produktem práškové metalurgie. Materiál se skládá z tvrdých karbidů – wolframu (W) a titanu (Ti), a pojiva – kobaltu (Co). Přičemž platí, že více obsahu kobaltu, jak karbidů zajišťuje houževnatější a méně tvrdý materiál, vhodný na hrubování. Pokud je situace opačná a materiál obsahuje méně kobaltu, jak karbidů, tak vzniká velmi tvrdá struktura vhodnější především na dokončovací operace. Slinuté karbidy jsou významné především jejich odolností proti opotřebení, zvýšenou pevností (ohybové i tlakové) a dostatečnou houževnatostí. Používají se až do teplot 900 °C, bez negativního vlivu na uvedené mechanických vlastností. Slinuté karbidy se vyrábějí ve formě vyměnitelných břitových destiček (VBD), které mají v sobě často předlisované utvařeče pro lepší odvod třísky. Z důvodu pórovité struktury a větších tvrdých částic jsou VBD ze slinutého karbidu více náchylné na vznik trhlin. [8]

Mechanické vlastnosti SK bývají často vylepšovány povlakováním, které má pozitivní vliv pro obráběcí proces (např. povlaky z TiC, TiN, TaC a NbC). Povlakování lze provádět metodou fyzikálního nanášení (PVD) nebo chemického nanášení (CVD). Povlakované destičky získávají především vyšší tvrdost, ořezuvzdornost, tepelnou odolnost a také se zvyšuje jejich životnosti. Výsledkem je možnost použití vyšších řezných rychlostí, vyššího úběru třísky a tím zrychlení strojních časů při obrábění. [6]

Řezná keramika (ŘK)

Řezná keramika převážně krystalický materiál a její hlavní složkou jsou hlavně anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Jedná se o materiál, který svou tvrdost zachovává i při značně zvýšených teplot. Mezi další kladné vlastnosti materiálu patří odolnost proti mechanickému namáhání (zejména tlakem), opotřebení, chemickým vlivům, korozi a má nízkou tepelnou vodivost. [8]

Tento řezný materiál se vyrábí ve formě VBD a často se jedná o provedení bez složitých utvařečů a bez otvoru pro upnutí. Důvodem je riziko trhlin v destičce kvůli její křehkosti, proto se destičky vyrábějí v jednoduchém tvarovém provedení. Používá se především pro suché obrábění, protože ŘK špatně snáší teplotní rázy způsobované procesní kapalinou. Nejčastější využití nachází pro hrubování a obrábění superslitin, litin a kalených ocelí. Mezi nevhodné použití patří zejména přerušované řezy a obrábění nerovnoměrných přídavků. Keramické břitové destičky lze povlakovat oběma metodami CVD i PVD. Povlak na keramických destičkách zajišťuje hlavně zvýšení meze únavy, odolnost proti vzniku povrchových trhlin a v neposlední řadě zvýšení odolnosti proti teplotním rázům. Řezná keramika se podle svého chemického složení dělí na: [6]

- oxidickou (Al_2O_3) – má relativně nízkou houževnatost a odolnost proti teplotním rázům. Mezi kladné vlastnosti patří vysoká odolnost proti opotřebení a vynikající chemická stálost. Břitové destičky oxidické keramiky mají obecně bílou barvu.
- směsnou ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiN}$, TaC ,...) – má lepší tepelnou vodivost, odolnost proti tepelným rázům a vyšší pevnost v ohybu. Je charakteristická černou barvou VBD.
- nitridovou (Si_3N_4) – má vyšší lomovou houževnatost než směsná keramika. Dále má výrazně vyšší tepelnou vodivost a nižší citlivost na tepelné rázy.

Kubický nitrid bóru (KNB)

Kubický nitrid bóru patří do skupiny tzv. supertvrdých řezných materiálů. Tento uměle vyráběný syntetický materiál se v přírodní formě nevyskytuje. Je vyráběn transformací hexagonálního nitridu bóru v kubický za použití vysokého tlaku a teploty. Patří k velmi tvrdým materiálům s vysokou pevností za tepla (až 1600°C), s výbornou odolností proti opotřebení. [8]

Nástroje z KBN zaručují velmi dobrou kvalitu obrobeného povrchu i za vyššího úběru materiálu. Proto je stále častější trend nahrazovat broušení soustružením s nástroji z KNB, což sníží obráběcí časy a zvýší produktivitu práce. V praxi je charakteristický jednoduchými tvary VBD. Ty jsou bez vylisovaných utvařečů a otvoru pro upnutí z důvodů rizika prasklin destičky. Životnost nástroje lze zvýšit povlakováním, které zároveň zlepšuje rozměrovou přesnost obrobených ploch z důsledku nižšího otěru destičky. Břitové destičky z kubického nitridu bóru mají nejčastější zastoupení pro obrábění superslitin, především pro dokončovací operace a tzv. obrábění za sucha. [6]

3.2 Rozdělení řezných materiálů dle normy ČSN ISO 513

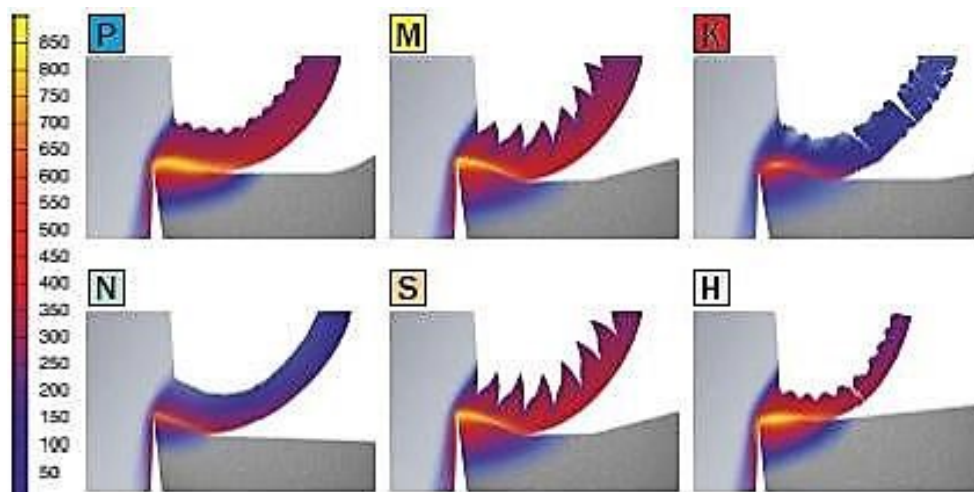
Dle normy ČSN ISO 513 se stanovuje klasifikace řezných materiálů pro obrábění a určuje jejich využití. Norma obsahuje šest skupin využití rozdělených podle různých obráběcích materiálů. Tyto skupiny jsou rozlišovány velkým písmenem a identifikační barvou. Každá skupina je kromě velkého písmena a barvy určena klasifikačním číslem (viz. Obr. 3.3). Vyšší klasifikační číslo znamená, že je materiál houževnatější s možností vyššího posuvu, ale je méně tvrdý, tudíž je obráběn nižší řeznou rychlostí a naopak. Pro niklové slitiny je charakteristická skupina S, která bude podrobněji popsána v následujícím odstavci. [14]

Skupina		Podskupina		
Identifikační písmeno	Obráběný materiál		Řezná rychlost, tvrdost	Posuv, houževnatost
P	Ocel: Všechny druhy ocelí kromě korozivzdorných a austenitických	P01 až P50 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká
M	Korozivzdorná ocel: Korozivzdorná austenitická a austeniticko-feritická ocel	P01 až P40 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká
K	Litina: Šedá litina, tvárná litina, temperovaná litina	P01 až P40 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká
N	Neželezné kovy: Hliník a ostatní neželezné kovy, nekovové materiály	P01 až P30 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká
S	Superslitiny a titan: Žárovzdorné speciální slitiny na základě železa, titanu, niklu a kobaltu	P01 až P30 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká
H	Tvrdé materiály: Kalené oceli, tvrzená litina	P01 až P30 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká

Obr. 3.3 Použití a klasifikace materiálu do jednotlivých skupin[9]

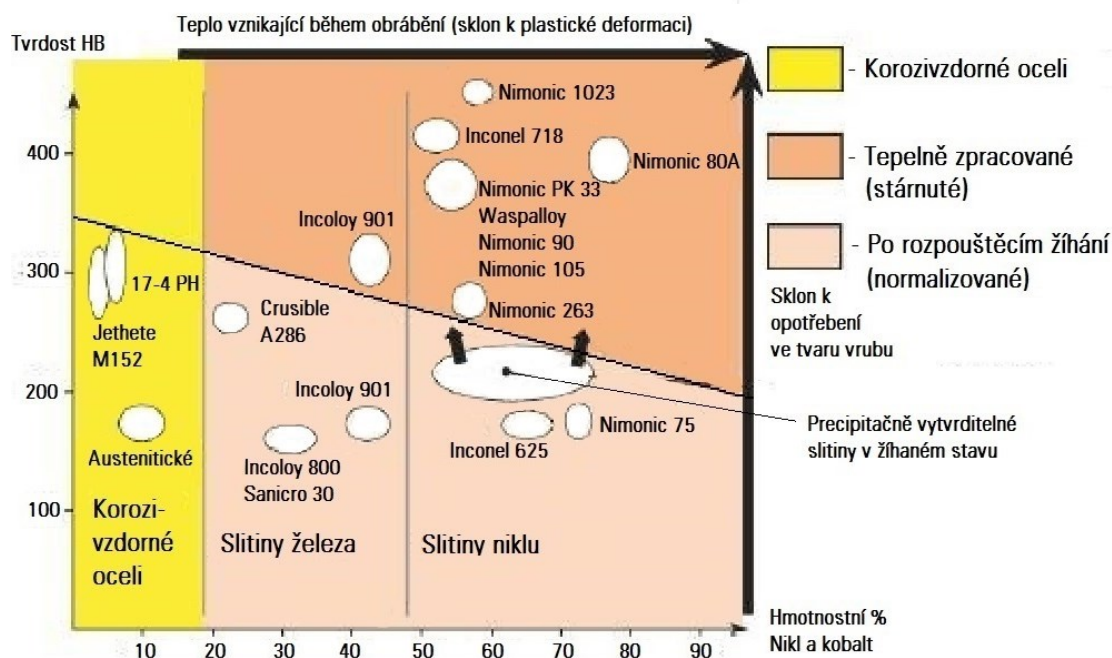
Skupina ISO S HRSA a titan

Tato skupina žárovzdorných superslitin se rozděluje podle normy především na titan a HRSA (slitiny na bázi niklu, železa a kobaltu). Tyto materiály snadno ulpívají na břitů nástroje a vytváří nárůstek. Ten se během obrábění zpevňuje (mechanické zpevňování) a negativně ovlivňuje geometrii nástroje, čímž vzniká velké množství tepla v místě řezu. Vlastnosti jsou velmi podobné jako u skupiny ISO M, což znamená např. tvorbu středně dlouhé třísky při obrábění (viz Obr. 3.4). Z hlediska obrobitelnosti se však mnohem obtížněji obrábí a výrazně zkracují životnost nástroje. [15]



Obr. 3.4 Tvar a teplota třísky při řezu břitovou destičkou z SK [16]

V průběhu obrábění se fyzikální vlastnosti u jednotlivých slitin značně liší, vzhledem k jejich chemickému složení a v závislosti na dokonalosti metalurgických procesů, kterými prochází během výroby. Procesy žhání a stárnutí mimořádně ovlivňují výsledné vlastnosti z hlediska obrobitelnosti. Inconel 718 je tepelně zpracován a patří mezi stárnuté slitiny. Stárnutí je tzv. precipitační vytvrzení, které se používá u žáruvzdorných slitin a má za účel dosáhnout vyšší pevnosti materiálu. Uvedené vztahy tepelného zpracování žáruvzdorných slitin jsou přehledně zakresleny ve schématu (viz Obr. 3.5). [17]



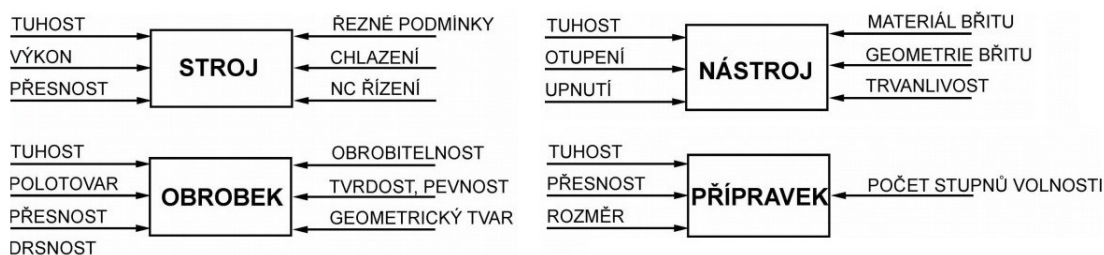
Obr. 3.5 Vliv tepelného zpracování na obrobitelnost materiálu [17]

4 Rozbor stávající technologie výroby

Při stávající technologii se obrábění dílce difuzoru ve firmě Honeywell provádí soustružením. A právě tato část výrobního postupu difuzoru bude racionalizována. Celý proces třískového obrábění je poměrně složitý a obsáhlý. Zahrnuje velké množství prvků, jako je typ obráběcího stroje, rezné nástroje, přípravky, manipulační prostředky a obráběcí prostředí (tj. procesní kapalina a jiné). Hlavním objektem obráběcího procesu je obrobek, který podle svých rozměrů, chemických a fyzikálních vlastností, či výsledné požadované kvality obrobeného povrchu určuje, jakým postupem a jakou technologií se bude obrábět. Tyto a další záležitosti stávající technologie obrábění dílce budou popsány a analyzovány v následujících kapitolách.

4.1 Charakteristika výrobního stroje

Pro danou součást – difuzor se obráběcí operace provádí na horizontálním CNC soustruh s označením SP 30. Z důvodu technologické složitosti a vysokých požadavků na přesnost a tím i na celkovou tuhost stroje, nelze tedy použít obrábění na konvenčním stroji. Tyto požadavky nám pomáhá zaručit především celková tuhost stroje. Mezi faktory ovlivňující přesnost výroby patří především tzv. soustava SNOP, která je tvořena obráběcím strojem (S), nástrojem (N), obrobkem (O) a přípravkem (P). Jednotlivé prvky soustavy SNOP jsou definovány a ovlivňovány určitými aspekty, které jsou popsány na obrázku (Obr. 4.1). Dále je nutno zmínit, že veškeré obráběcí operace probíhají na stroji SP 30 CNC za pomoci chlazení procesní kapalinou. [18]



Obr. 4.1 Vlivy působící na jednotlivé prvky soustavy SNOP [18]

Horizontální soustruh SP 30 CNC

Tento model je určený především pro kusovou, malosériovou a velkosériovou výrobu (např. přírubových a hřídelových dílců odlitků a výkovků). Je vybaven zařízením pro automatickou výměnu obrobků, chladicím systémem a dopravníkem třísek. Soustruh používá standardní řídicí systém SIEMENS Sinumerik 840 D-SL. [19]

Výroba dílců na tomto typu stroje probíhá následovně. Obsluha stroje před samotným upnutím nejprve ustaví obrobek na dosedací plochu čelistí, vymezí vůle a házivost pomocí úchylkoměru. Kvůli zamezení tvarové deformaci dílce se používá při upínání speciální momentový klíč. Po upnutí obrobku a zavření bezpečnostního krytu se načte vytvořený CNC program, který obsahuje již veškeré parametry řezných podmínek pro samotnou výrobu dílce. Pro kontrolní přeměření rozměrů dílce, či odstranění třísek z místa obrábění se může přerušit výrobní proces zastavením programu. Po dokončení těchto úkonů se po opětovném zavření bezpečnostního krytu znovu spustí program a výrobní proces může pokračovat.



Obr. 4.2 Soustruh SP 30 CNC [19]

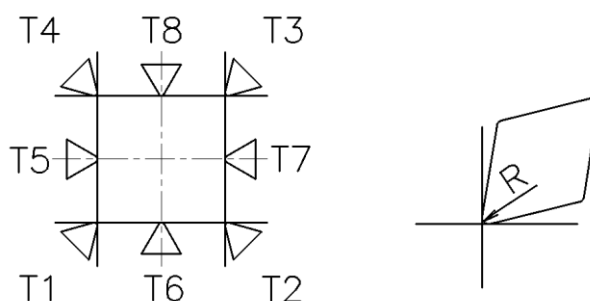
Tab. 4.1 Základní technické parametry soustruhu SP 30 CNC [20]

Pracovní rozsah stroje	
oběžný průměr nad ložem	620 mm
oběžný průměr nad suportem	350 mm
vzdálenost mezi hroty – provedení N / L	670 mm / 1150 mm
úhel sklonu osy X	45°
Vřeteno	
konec vřetena	A2 – 8
vrtání vřetena	87 (102) mm
kužel vřetena	1:20
rozsah otáček	0-3200 min ⁻¹
maximální výkon	17 / 29 kW
maximální krouticí moment	264 / 451 Nm
Nástrojová hlava	
pohon	servomotor
počet pozic (rozměr)	12 (25 x 25 mm)
zdvih v ose X	260 mm
zdvih v ose Z – provedení N / L	610 mm / 1090 mm
rychloposuv v ose X a Z	30 m.min ⁻¹
maximální posuvová síla v ose X a Z	7000 N
Koník	
zdvih koníku – provedení N / L	450 / 930 mm
zdvih pinoly	100 mm
průměr pinoly	120 mm
kužel pinoly	MT 4
Hmotnost stroje – provedení N / L	4500 / 5800 kg
Řídicí systém	SIEMENS Sinumerik 840 D-SL

4.2 Nástroje stávající výroby

Pro stávající výrobu zadaného dílce používá firma Honeywell nástroje od firmy Kennametal Inc., Iscar ČR s.r.o., a NTK Cutting Tools U.S.A. Od těchto výrobců jsou pořízeny vyměnitelné břitové destičky i držáky, které jsou určeny pro již zmíněný CNC soustruh SP 30. Jednotlivé hrubovací operace (100, 150, 300) používají v technologickém postupu více typů nástrojů.

Níže jsou definovány čtyři nástroje pro hrubování používané ve stávající výrobě se základními údaji, jako je tvar a geometrie břitové destičky, její povlak a držák. Mezi další zmíněné informace patří označení nástroje dle technologického postupu a jeho poloha při obráběcím procesu značena velkým písmenem T (viz Obr. 4.3).



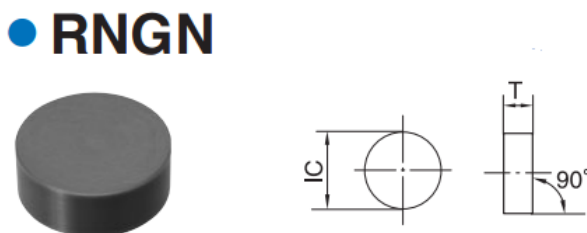
Obr. 4.3 Typy poloh nástroje na obráběné ploše při soustružení [10]

Keramická kruhová destička od firmy NTK – Cutting tools

Typ destičky: RNGN 120700T00520 WA1

Povlak/ Sorta: WA1

Použití povlaku: Tento povlak je přímo určený pro obrábění žáruvzdorných leteckých slitin. Je určený zejména pro obrábění s procesní kapalinou. Má vysokou houževnatost, vynikající odolnost proti opotřebení a vzniku trhlin. Jeho dobré mechanické vlastnosti jsou zapříčiněné složením keramického materiálu s karbidy křemíku. [21]



Obr. 4.4 Tvar negativní kruhové břitové destičky [21]

Tab. 4.2 Technické údaje VBD [21]

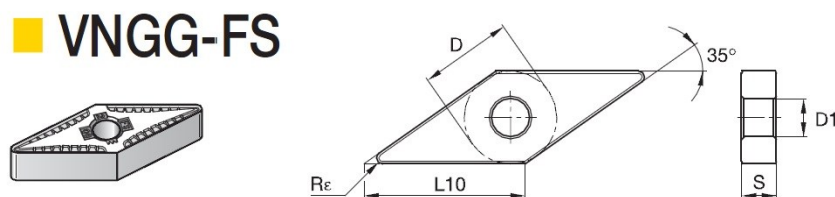
Katalogové číslo ISO	Ø IC [mm]	T [mm]	R _ε [mm]
RNGN120700T00520	12,70	7,94	-

Čtyřbřítá destička z SK od firmy Kennametal

Destička: VNGG 160408 FS K5525

Povlak/ Sorta: KC5525

Použití povlaku: Jedná se o pokročilou jemnozrnnou sortu s vysokým obsahem karbidu kobaltu s povlakem PVD – TiAlN. Tato sorta zajišťuje tvrdost odolnost proti deformaci při vyšších rychlostech a je určena pro středně až silně přerušované řezy u žárovevných slitin. [22]



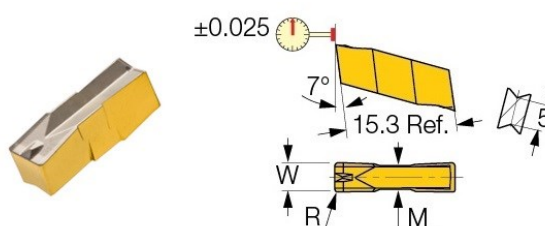
Obr. 4.5 Tvar negativní břitové destičky Kenloc [22]

Tab. 4.3 Technické údaje VBD [22]

Katalogové číslo ISO	Katalogové číslo ANSI	Ø D [mm]	L10 [mm]	S [mm]	R _ε [mm]	D1 [mm]
VNGG160408FS	VNGG332FS	9,53	16,61	4,76	0,8	3,81

3. Zapichovací destička od firmy ISCAR

Destička: GIP 4.00 0.8



Obr. 4.6 Tvar břitové destičky [23]

Tab. 4.4 Technické údaje VBD [23]

W±0.02 [mm]	R±0.05 [mm]	M [mm]	ap (min) [mm]	ap (max) [mm]
4.00	0.80	3.2	1.00	2.40

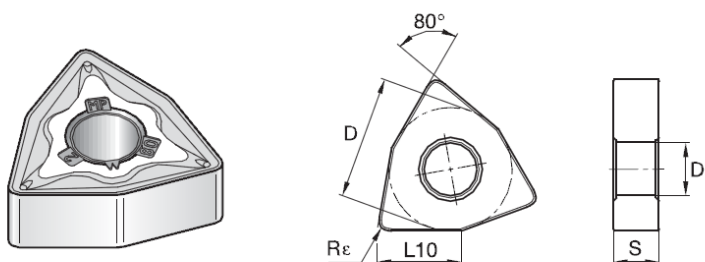
Šestibřítá destička z SK od firmy Kennametal

Destička: WNMG 080408 MS KC5510

Povlak/ Sorta: KC5510

Použití povlaku: Jedná se o pokročilou jemnozrnnou sortu karbidu wolframu s povlakem PVD TiAlN. Sorta KC5510 je speciálně navržena pro produktivní obrábění žárovevných slitin. Nástroj má vynikající tuhost a odolnost proti deformaci, zatímco povlak PVD umožňuje zdvojnásobení obráběcí rychlosti v porovnání s konvenčními obráběcími nástroji s povlakem PVD. [22]

■ WNMG-MS



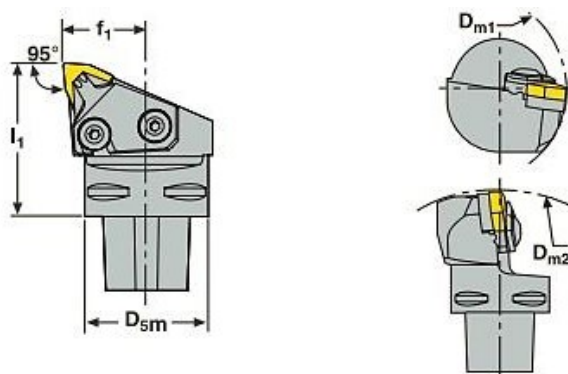
Obr. 4.7 Tvar břitové destičky Kenloc [22]

Tab. 4.5 Technické údaje VBD [22]

Katalogové číslo ISO	Katalogové číslo ANSI	Ø D [mm]	L10 [mm]	S [mm]	Rε [mm]	D1 [mm]
WNMG080408MS	WNMG432MS	12,70	8,69	4,76	0,80	5,16

Vyměnitelné břitové destičky jsou upevněny hned v několika typech držáků podle toho, kam a v jaké poloze se musíme daným nástrojem dostat do místa řezu. Z tohoto důvodu jsou pro názornost popsány dva typy držáku ze stávající výroby. Zbylé držáky jsou definovány na nadcházející straně.

Držák pro upnutí destičky tvaru W: C4-PWLNL-27050-08

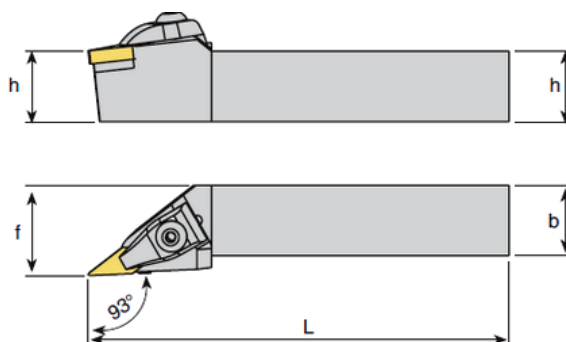


Obr. 4.8 Držák VBD (znázorněná pravá verze) [24]

Tab. 4.6 Technické údaje držáku pro VBD [24]

Katalogové číslo ISO	l_1 [mm]	f_1 [mm]	D_{5m} [mm]	D_{1m} [mm]	D_{2m} [mm]	γ_o [°]	γ_p [°]
C4-PWLNL 27050 08	50	27	40	75	165	- 6	- 6

Držák pro upnutí destičky tvaru V: DVJNL 2525 M16



Obr. 4.9 Držák VBD (znázorněná pravá verze) [25]

Tab. 4.7 Technické údaje držáku pro VBD [25]

Katalogové číslo ISO	h [mm]	b [mm]	L [mm]	f [mm]
DVJNL 2525 M16	25	25	150	32

Níže jsou uvedeny veškeré vyměnitelné břitové destičky a jejich držáky pro hrubovací operace (100, 150 a 300). Dalšími údaji jsou označení nástroje pro CNC program, rádius špičky nástroje a jeho poloha při obrábění. Jednotlivé tabulky definují veškeré nástroje potřebné pro danou hrubovací operaci zvlášť.

Tab. 4.8 Nástroje stávající výroby pro operaci 100

Označení nástroje	Typ držáku	Typ destičky	R	Poloha
0101	C4-CRSNL 27050-12 ID	RNGN 120700T00520 WA1	6,35	T3
0303	DVJNL 2525 M16	VNGG 160408 FS K5525	0,8	T2
0505	GHIL25-510	GIP 4.00 0.8	0,8	T2
0909	C4-MVJNL-27050-16	VNGG 160408 FS K5525	0,8	T3
0707	DVJNL 2525 M16	VNGG 160408 FS K5525	0,8	T3
1111	C4-PWLNL-27050-08	WNMG 080408 MS KC5525	0,8	T3

Tab. 4.9 Nástroje stávající výroby pro operaci 150

Označení nástroje	Typ držáku	Typ destičky	R	Poloha
0303	C4-MVJNL-27050-16	VNGG 160408 FS K5525	0,8	T2
0707	C4-PWLNL-27050-08	WNMG 080408 MS KC5510	0,8	T2
1111	C4-PWLNL-27050-08	WNMG 080408 MS KC5510	0,8	T3

Tab. 4.10 Nástroje stávající výroby pro operaci 300

Označení nástroje	Typ držáku	Typ destičky	R	Poloha
0707	C4-MVJNR-27050-16	VNGG 160408 FS K5525	0,8	T3

4.3 Obráběná součást

Polotovarem je výkovek z materiálu Inconel Alloy 718 spadající do kategorie žáruvzdorných niklových slitin. Výkovek je jednou z částí sestavy difuzoru, který bývá obsažen v proudových motorech letadel. Difuzor má za funkci zvyšovat tlak vzduchu před spalovací komorou v proudovém motoru. Výkovek je vyráběn dle normy AMS 5662, která standardizuje výkovky a tyče ve vytvrditelném stavu. Ty se následně mohou tepelně upravit a tak vzniká tzv. vytvrzený materiál (viz kapitola 2.1). Tvar výkovku je kruhového průřezu o velikosti vnějšího průměru 323,85 – 325,88 mm a délky 71,37 – 72,40 mm. [26]

4.3.1 Charakteristika materiálu Inconel Alloy 718

Materiál Inconel Alloy 718 (dle normy UNS N07718, W Nr 2.4668) jde o již zmíněnou vytvrditelnou slitinu niklu, která má vysokou pevnost, korozní odolnost za vysokých teplot a perfektní svařitelnost. Teplotu tání má tento materiál přibližně 1336 °C. Jak bylo uvedeno výše, se Inconel Alloy 718 často po dokončení obráběcího procesu vytvrzuje pro zlepšení svých mechanických vlastností. Mezi další vytvrzené materiály patří například Inconel 706, Waspallow a Udimet 720. [15], [26]

Inconel Alloy 718 má nejčastější využití pro výrobu dílů do proudových motorů letadel. Tato slitina se dále využívá v kosmickém, chemickém a zřídka i v automobilovém průmyslu.

Tab. 4.11 Chemické složení mat. Inconel Alloy 718 [27]

Ni [%]	Cr [%]	Fe [%]	Nb [%]	Mo [%]	Ti [%]	Al [%]
54,0	18,0	18,5	5,0	3,0	1,0	0,9

Tab. 4.12 Mechanické vlastnosti mat. Inconel Alloy 718 [27]

Měrná hmotnost [g.cm ⁻³]	R _m [MPa]	R _{e0,2} [MPa]	A [%]	Tvrdost [HV]	Pevnost při tečení [MPa]
8,19	1413	1 138	20	425	370

4.4 Technologický sled operací výroby

Racionalizace výroby dílce této bakalářské se zabývá hrubovacími operacemi 100, 150 a 300 prováděné na soustruhu SP 30 CNC. Zbylé operace jsou pro názornost vypsány v tabulce (Tab. 4.13), ve které jsou seřazeny dle posloupnosti, jak jsou prováděny po sobě.

Tab. 4.13 Technologický sled operací

Č. op.	Název operace		
0050	Soustružení – Turning	0850	Tepelné zpracování – Heat treatment
0100	Soustružení – Turning	0900	Ruční práce – Hand finish
0150	Soustružení – Turning	0950	Kapilární kontrola – FPI
0200	Soustružení – Turning	0960	Odmašťování ekol – Cleaning
0250	Odmašťování ekol – Cleaning	1000	Tepelné zpracování – Heat treatment
0300	Soustružení – Turning	1010	Kontrola tvrdosti – Hardness
0350	Soustružení – Turning	1020	Popis – Marking
0360	Odmašťování ekol – Cleaning	1050	Soustružení – Turning
0370	Ruční práce – Hand finish	1100	Soustružení – Turning
0400	Externí kooperace – Rev.NC/Diffuser	1150	Soustružení – Turning
0450	Kontrola – Inspection	1170	Soustružení – Turning
0460	Ruční práce – Hand finish	1200	Obrábění – Machining
0500	Odmašťování ekol – Cleaning	1250	Ruční práce – Hand finish
0550	Kapilární kontrola – FPI	1300	Broušení – Grinding
0600	Odmaštění páry – Cleaning	1400	Ruční práce – Hand finish
0700	Niklování – Nickel plating	1450	Odmašťování ekol – Cleaning
0750	Svařování – Welding	1500	Soustružení – Turning
0760	Odmaštění páry – Cleaning	1550	Kontrola - Inspection
0800	Ruční práce – Hand finish	1575	Kontrola DEA – Machine inspect
		1600	Ruční práce – Hand finish
		1700	Kontrola – Inspection

5 Návrh nové technologie výroby

Při navrhování změn ve výrobě je nutné zohlednit veškeré návaznosti obráběcího procesu od samotných výrobních operací až po kontroly daného dílce. Z tohoto důvodu je nutné zabránit prodlevám mezi jednotlivými operacemi a nenarušení produktivity výroby.

Společnost Honeywell specifikovala požadavek racionalizace výroby na návrh nových nástrojů a řezných podmínek pro hrubovací operace s cílem snížit výrobní časy a náklady. Zaměření pouze na hrubovací operace jsou z toho důvodu, že při dokončování dílců z takto těžkoobrobitelných materiálů vznikají velká rizika poškození dílce. Jedná se především o zbytkové pnutí v materiálu po dokončení obrábění. Navrhnout správné nástroje a řezné parametry zabírá mnoho času a způsobuje finanční ztráty při nepovedeném testování. U dokončovacích operací se navíc nevytváří tak velký prostor pro úsporu strojních časů a tudíž vzniku levnější výroby, jak u hrubovacích operací.

5.1 Volba výrobního stroje

Stroj pro výrobu zadaného dílce bude zachován dle stávající výroby. Důvodem je již odzkoušená a vyhovující výroba daného dílce na stroji SP 30 CNC (viz kapitola 4.1) a také z důvodu potřeby neustálého využití stroje. Tato bakalářská práce se zaměřuje, jak už bylo zmíněno, na racionalizaci výroby v podobě návrhu nových obráběcích nástrojů, takže není volba nového stroje zapotřebí. Zůstávají tedy stejné technické parametry a pracovní rozsah stroje, které budou zohledněny pro volbu nových nástrojů.

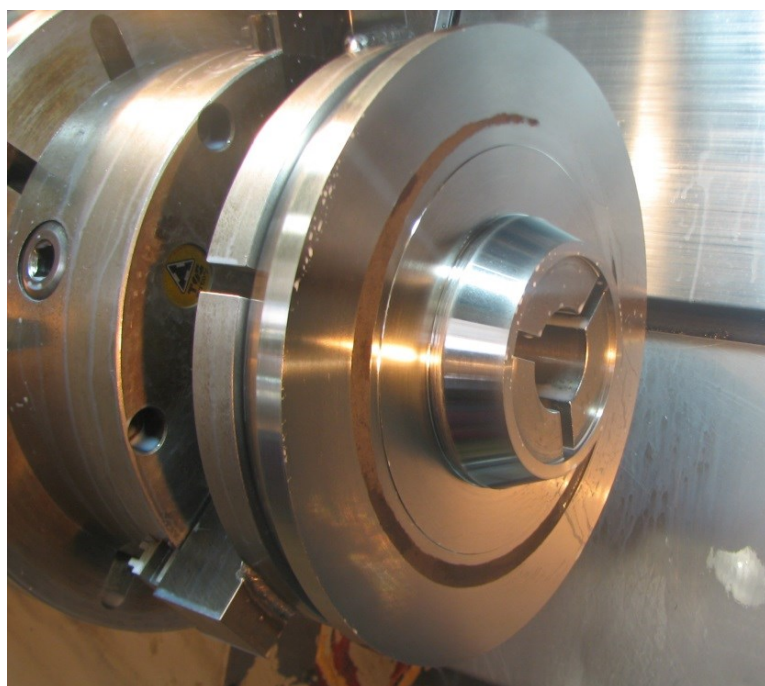
5.1.1 Upnutí obrobku na výrobním stroji

Obrobek je upnut pomocí přípravku, který je v podobě čelistí, které jsou vsazeny do klasického tříčelistového univerzálního sklíčidla. Přípravkem jsou tedy tři měkké speciální čelisti (viz Obr. 5.1), které jsou vyrobeny pro každou hrubovací operaci zvlášť. To z toho důvodu, že obrobek je těmito speciálními čelistmi upnut za vnější průměr, který je pro každou operaci odlišný.



Obr. 5.1 Přípravek - tři speciálních čelistí pro operaci 100

Obrobek je upnut za, co největší plochu, aby se zabránilo jeho deformaci. Nutno také podotknout, že čelisti mají během svého používání jen omezenou životnost. Důvodem je ta skutečnost, že se musí po určité době zarovnat soustružením jejich upínací plocha, aby se zaručil maximální styk přípravku s plochou obrobku. Na obrázku níže je zobrazeno upnutí obrobku těmito speciálními čelistmi během soustružení operace č. 100.



Obr. 5.2 Upnutí obrobku na stroji pomocí pro operaci 100

5.1.2 Použití procesní kapaliny

Procesní kapalina byla použita od firmy Cimcool Europe s názvem Cimperial HD 801. Jedná se o polosyntetickou kapalinu patřící do kategorie řezných a brusných emulzí, která se využívá zejména v oblasti automobilového a leteckého průmyslu. [28]

Tato kapalina na bázi emulze s vysokým obsahem minerálních olejů je zaměřena zejména pro náročnější obráběcí operace hliníku, vysoce legovaných ocelí a těžkoobrobitelných superslitin, jako je například právě Inconel. Pro danou výrobu se používá v koncentraci 5 – 7 %. Užití této kapaliny by mělo zaručit optimálnější výrobní proces a hlavně snížit celkové náklady na výrobu. [28]

5.2 Volba řezných nástrojů

Výroba zadaného dílce probíhá již několik let bez jakékoliv racionalizace výroby. Zejména proto byl směřován návrh nových nástrojů na využití nových, technicky vylepšených destiček především z keramiky, které v té době ještě nebyly běžné. Jelikož jsou nyní hlavními dodavateli vyměnitelných břitových destiček firma Seco Tools s.r.o. a Kennametal Inc., byly tudíž navržené nástroje vybírány od těchto dvou dodavatelů. Hlavním důvodem je finanční stránka destiček, která je vzhledem k velkým a dlouhodobým odběrům od těchto firem velmi výhodná. Dalším důvodem, je ta skutečnost, že testování nových destiček a navazování obchodních vztahů s jinými firmami by bylo časově náročné.

5.2.1 Stanovení typu destiček

Jak už bylo několikrát zmíněno, jednotlivé soustružnické operace a různé typy obráběných materiálů vyžadují odlišné typy destiček. Proto se muselo při výběru nových nástrojů postupovat systematicky (nejčastěji podle katalogu výrobce VBD). Níže je zobrazen systém značení břitových destiček z katalogu firmy Kennametal.

C	N	G	G	12	04	08	F
Tvar břitové destičky	Úhel hřbetu	Toleranční třída	Vlastnosti břitových destiček	Velikost	Tloušťka	Rohový rádius "Rc"	Utvařec třísky

Obr. 5.3 Systém značení břitových destiček firmou Kennametal [29]

Nejprve bylo nutné vyhledat v katalogu tzv. sortu vhodnou pro materiál Inconel Alloy 718. Tou byla sorta pro žáruvzdorné slitiny. Dále byly voleny tvary břitových destiček podle polohy nástroje a místa obrábění, tak aby umožnili dostat se do místa řezu. V tomto případě se jednalo především o tvary kruhové (R), trigon (W) a kosočtvercové (V). Vybíralo se z negativních břitových destiček (hlavně z řezné keramiky), které vyhovují právě pro hrubovací operace. Úhel hřbetu byl zvolen 0° , protože je pro hrubování žáruvzdorných slitin nejvhodnější (viz kapitola 2.3.1). Z důvodu zachování dobré řezivosti nástroje byl u břitových destiček volen rádius špičky 0,8 mm. Typy utvařečů destiček byly nejčastěji stanovovány pro středně hrubé obrábění. V neposlední řadě se určoval u destičky typ upnutí. Z důvodu snahy o zachování držáku používaných u stávající výroby, byly voleny především destičky se stejným typem upnutí. Tyto kroky byly konzultovány a schváleny technologem firmy Honeywell.

Firma Seco Tools má dvě hlavní sorty VBD, které jsou specifikovány na obrábění žáruvzdorných slitin a to TS2000 – pro dokončovací operace pro vysoké řezné rychlosti a TS2500 – pro hrubovací operace a obrábění s přerušovanými řezy. U firmy Kennametal šlo o sortu S s číslem podskupiny S3, do které patří Inconel Alloy 718. Zbylé značení pro specifikaci břitových destiček je pro veškeré firmy stejné. [30], [22]

5.2.2 Volba řezných parametrů pro nově zvolené nástroje

Je velmi důležité si počínat při návrhu nových řezných parametrů obezřetně, jelikož je Inconel Alloy 718 velmi drahý materiál. Při vzniku zmetků, u takto drahých materiálů, nastávají velké finanční ztráty oproti obrábění běžných materiálů, jako je například ocel. Se vznikem vad při obrábění se potýká, ať už v menším nebo větší míře, každá firma. Je proto nezbytné zkoušet obrábět daný materiál pomocí testovacích řezů nově navrženými destičkami. Tím se zjišťuje, jak se materiál bude za daných řezných parametrů chovat a jaká vznikají rizika. I když je samotné testování poměrně drahé v porovnání se vznikem zmetků vyrobené součásti, tak je cena zanedbatelná. Tento proces je pro snížení tzv. zmetkovitosti u takových materiálů nutností.

V této práci se postupovalo při návrhu řezných parametrů dle katalogu od firmy Kennametal výrobce vybrané destičky (viz Obr 5.4), kdy se podle zvolené geometrie určila hloubka řezu a posuv.

Negativní břitové destičky

▼ Hrubování



-RP

▼▼ Středně hrubé obrábění



-MS



.NG

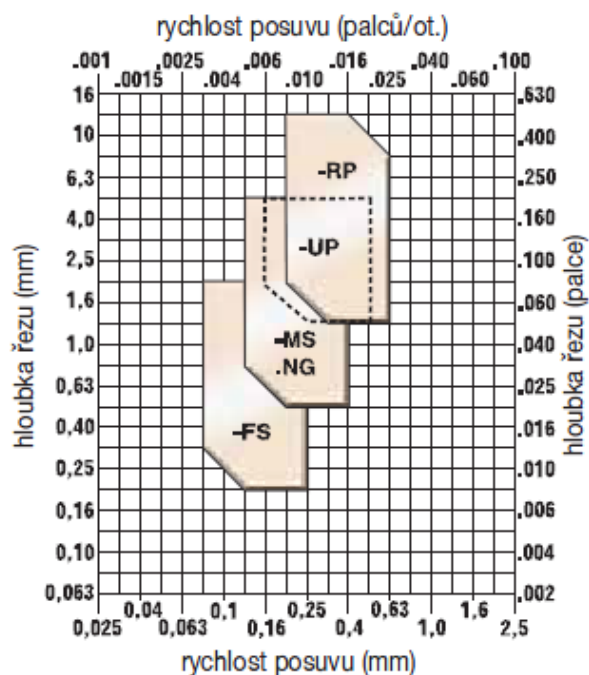


-UP

▼▼▼ Dokončování



-FS



Obr. 5.4 Schéma pro volbu posuvu a hloubky řezu podle geometrie destičky [22]

Po dokončení výběru typu destičky a zvolení požadované hloubky řezu a rychlosti posuvu se následně určil povlak (tzv. sorta) destičky, který se určuje podle aplikace užití. Každá sorta však není obsažena pro daný typ destičky, proto je někdy obtížné najít požadovanou destičku s vhodným povlakem. Pro výrobu daného dílce, s přihlédnutím, že se jedná o středně hrubé obrábění výkovku, se vybíralo ze dvou kategorií aplikace užití. Jednalo se o kategorie – jemně přerušovaný řez a proměnlivá hloubka řezu, odlitky, výkovky (viz Obr. 5.5).

Řezné podmínky	Negativní břitové destičky				
	-FS ▼▼▼	.NG ▼▼	-MS ▼▼	-UP ▼▼	-RP ▼
hrubý přerušovaný řez	⚙ KC5525	–	KC5525	KC9240	KC9245
jemně přerušovaný řez	⚙ KC5510	KY1540	KC5525	KC9240	KC5525
proměnlivá hloubka řezu, odlitky, výkovky	⚙ KC5510	KY1540/ KY4300	KC5510	KC9225	KC5525
konstantní řez, předhrubovaný povrch	⚙ KC5510/ K313	KY4300/ KY2100	KC5510/ K313	KC5010	KC5510

Obr. 5.5 Volba povlaku destičky dle aplikace užití [22]

Podle zvoleného povlaku se dále určila řezná rychlost (viz Obr 5.6). Pomocí zvolené řezné rychlosti se následně přizpůsobili parametry posuvu a hloubky řezu, které byly definovány v předešlém kroku.

Kenna Perfect™ Materiálová skupina	sorta	Rychlost – (m/min) sfm													Počáteční podmínky	
		15 (50)	45 (150)	75 (250)	105 (350)	140 (450)	170 (550)	200 (650)	230 (750)	260 (850)	290 (950)	350 (1050)	380 (1150)	380 (1250)	m/min	sfm
S3	K313														40	125
	KC5510 / KC5010 / KC9225														70	225
	KC5525 / KC5025 / KC9240														40	125
	KC9245														40	125
	KY4300														250	820
	KY1540														215	700
	KY2100														230	750

Obr. 5.6 Volba řezné rychlosti dle povlaku destičky [22]

Konkrétní údaje nově zvolených břitových destiček, s důvody jejich zvolení a typy jejich držáků, jsou rozepsány v následujících kapitolách.

5.2.3 Řezné nástroje pro operaci 100

První nově navržená destička je typu R (kruhová) a je alternativou kruhové destičky stávající výroby od firmy NTK – Cutting Tools. Jelikož firma Seco Tools zatím ve svém sortimentu kruhové keramické destičky nenabízí, tak byla destička vybrána od firmy Kennametal. Destička je opatřena novým typem povlaku nazvaným KYS 25, který zlepšuje její dosavadní vlastnosti. Dalším důvodem použití této destičky byla ta skutečnost, že firma Honeywell má již tuto destičku otestovanou. V testování se destička osvědčila pro obrábění niklových slitin, a díky své nižší ceně destičky je velice vhodným řešením.

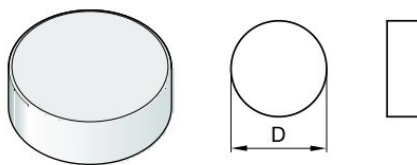
Keramická kruhová destička od firmy Kennametal

Destička: RNGN 120700 T01025 KYS 25

Povlak/ Sorta: KYS 25

Použití povlaku: Keramická sorta Sialon s vícevrstevným CVD povlakem na bázi oxidu hliníku slouží při obrábění litin s vysokou tvrdostí, žáruvzdorných a niklových slitin. Vylepšený vícevrstevný CVD povlak zajišťuje vynikající chemickou a vrubovou odolnost. Hlavní výhody tohoto povlaku je především vysoká kvalita povrchu, menší řezné síly a možnost větších rychlostí. [29]

■ RNGN



Obr. 5.7 Tvar negativní břitové destičky Kenloc [29]

Tab. 5.1 Technické údaje VBD [29]

Katalogové číslo ISO	Ø D [mm]	L10 [mm]	Rε [mm]
RNGN120700T01025	12,70	-	-

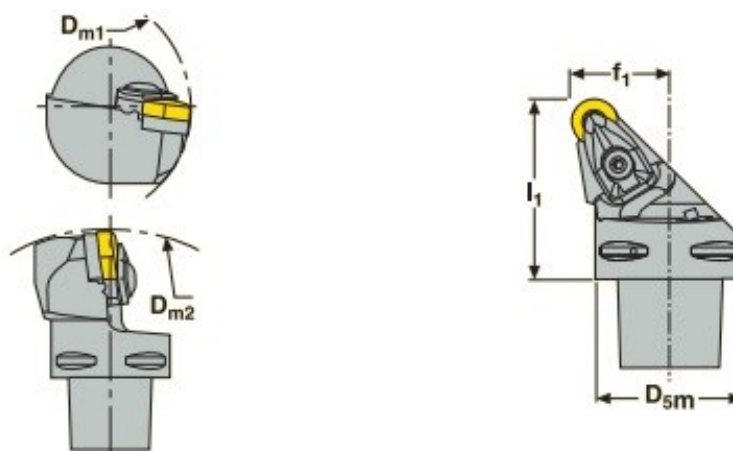
Tab. 5.2 Řezné parametry VBD [29]

Řezné parametry	Katalogové řezné podmínky	Zvolené řezné podmínky
Řezná rychlost v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	190 – 370	300
Posuv f [mm]	0,13 – 0,4	0,1
Hloubka třísky a_p [mm]	0,5 – 5	0,6

Držák pro upnutí kruhové destičky od firmy Seco Tools

Typ držáku: C4-CRSNL 27050-12 ID

Pro upnutí břitové destičky byl zvolen držák pro kruhové VBD typu (R) od firmy Seco Tools.



Obr. 5.8 Tvar negativní břitové destičky Kenloc [24]

Tab. 5.3 Technické údaje VBD [24]

Katalogové číslo ISO	l_1 [mm]	f_1 [mm]	D_{5m} [mm]	D_{1m} [mm]	D_{2m} [mm]	κ_r [°]
C4 - PWLNL 27050 08	50	27	40	75	165	45

5.2.4 Řezné nástroje pro operaci 150

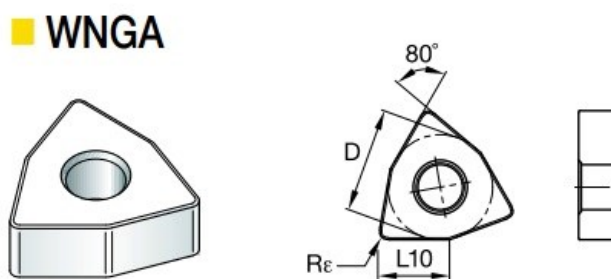
V operaci 150 zůstali ze stávající výroby tři nástroje s označením 0303, 0707 a 1111. Dále byly přidány pro dva stejné nástroje se šestibřitou keramickou destičkou pro polohu T2 a T3. Přidání těchto dvou keramických destiček se umožnilo zvýšení otáček a díky větší řezné rychlosti dosažení úspory času při výrobě. Nejedná se o záměnu dosavadních destiček, protože stávající povlakované destičky tvaru Trigon z SK poslouží jako dokončení hrubovací operace. Obráběná stěna má totiž tloušťku pouze 5 mm, což znamená riziko vzniku vnitřního napětí, popřípadě deformace obrobku.

Keramická destička tvaru trigon od firmy Kennametal

Destička: WNGA 080408 T01020 KYS 30

Povlak/ Sorta: KYS 25

Použití povlaku: Keramická sorta Sialon s vícevrstevným CVD povlakem na bázi oxidu hliníku slouží při obrábění litin s vysokou tvrdostí, žáruvzdorných a niklových slitin. Vylepšený vícevrstevný CVD povlak zajišťuje vynikající chemickou a vrubovou odolnost. Hlavní výhody tohoto povlaku je především vysoká kvalita povrchu, menší řezné síly a možnost větších rychlostí. [29]



Obr. 5.9 Tvar negativní břitové destičky Kenloc [29]

Tab. 5.4 Technické údaje VBD [29]

Katalogové číslo ISO	Ø D [mm]	L10 [mm]	Rε [mm]
WNGA080408T01020	12,70	8,69	0,8

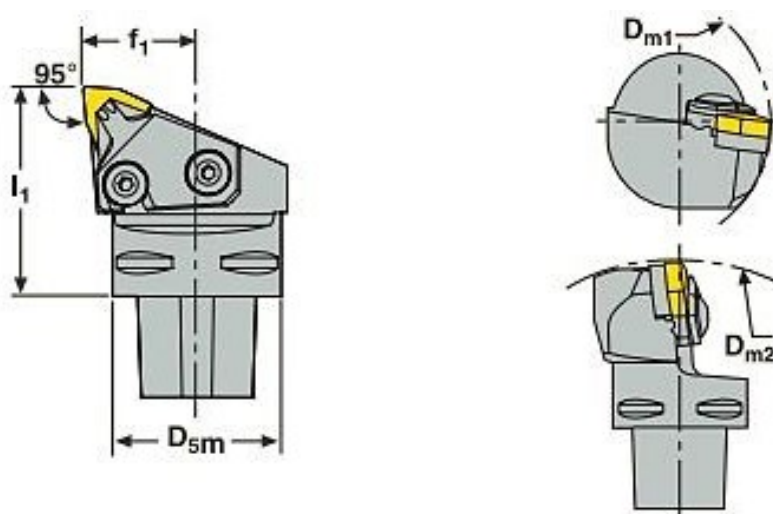
Tab. 5.5 Řezné parametry VBD [29]

Řezné parametry	Katalogové řezné podmínky	Zvolené řezné podmínky
Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	190 – 370	300
Posuv f [mm]	0,13 – 0,4	0,1
Hloubka třísky a_p [mm]	0,5 – 5	0,5

Držák pro upnutí destičky tvaru W od firmy Seco Tools: C4-PWLNL-27050-08

Typ držáku: C4-CRSNL 27050-12 ID

Pro upnutí břitové destičky byl zvolen držák pro VBD typu (W) od firmy Seco Tools.



Obr. 5.10 Držák VBD (znázorněná pravá verze) [24]

Tab. 5.6 Technické údaje držáku pro VBD [24]

Katalogové číslo ISO	l_1 [mm]	f_1 [mm]	D_{5m} [mm]	D_{1m} [mm]	D_{2m} [mm]	γ_o [°]	γ_p [°]
C4-PWLNL 27050 08	50	27	40	75	165	- 6	- 6

5.2.5 Řezné nástroje pro operaci 300

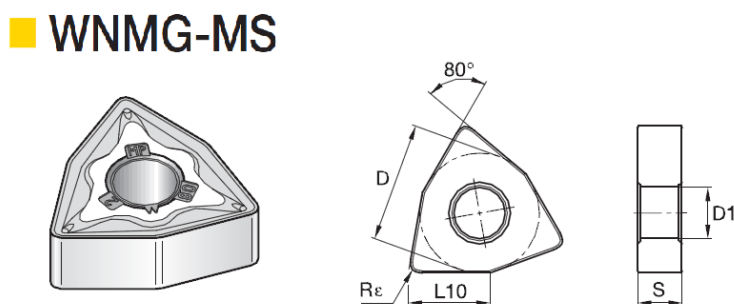
Pro operaci 300 byl stávající nástroj zachován a přidán jeden další. To především z důvodu, že stávající nástroj zůstane na sražení hran a nově navržená destička bude hrubovat zbylé části obroku. Výsledkem je, díky šesti břitům nově navržené destičky tvaru W – Trigon, snížení spotřeby VBD stávajícího nástroje výroby. Ten byl původně používán pro obrábění všech ploch obroku v dané operaci. Držák VBD (viz Tab. 5.11)

Šestibřitá destička z SK od firmy Kennametal:

Destička: WNMG 080408 MS KC5510

Povlak/ Sorta: KC5525

Použití povlaku: Jedná se o pokročilou jemnozrnnou sortu s vysokým obsahem karbidu kobaltu s povlakem PVD TiAlN. Tato sorta zajišťuje tvrdost odolnost proti deformaci při vyšších rychlostech a je určena pro středně až silně přerušované řezy u žárovevných slitin. [22]



Obr. 5.11 Tvar břitové destičky Kenloc [22]

Tab. 5.7 Technické údaje VBD [22]

Katalogové číslo ISO	Katalogové číslo ANSI	Ø D [mm]	L10 [mm]	S [mm]	Rε [mm]	D1 [mm]
WNMG080408MS	WNMG432MS	12,70	8,69	4,76	0,80	5,16

Tab. 5.8 Řezné parametry VBD [29]

Řezné parametry	Katalogové řezné podmínky	Zvolené řezné podmínky
Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	20 – 70	70
Posuv f [mm]	0,12 – 0,35	0,15
Hloubka třísky a_p [mm]	0,3 – 5	0,3

5.2.6 Celkový přehled nově navržených nástrojů

Jednotlivé tabulky opět definují nástroje, pro každou operaci zvlášť, jak tomu bylo na straně (str. 30) u stávající výroby. Nově navržené nástroje jsou vyznačené tučným písmem.

Tab. 5.9 Nástroje stávající výroby pro operaci 100

Označení nástroje	Typ držáku	Typ destičky	R	Poloha
0101	C4-CRSNL 27050-12 ID	RNGN 120700 T01025 T01025 KYS25	6,35	T3
0303	DVJNL 2525 M16	VNGG 160408 FS K5525	0,8	T2
0505	GHIL25-510	GIP 4.00 0.8	0,8	T2
0909	C4-MVJNL-27050-16	VNGG 160408 FS K5525	0,8	T3
0707	DVJNL 2525 M16	VNGG 160408 FS K5525	0,8	T3
1111	C4-PWLNL-27050-08	WNMG 080408 MS KC5525	0,8	T3

Tab. 5.10 Nástroje stávající výroby pro operaci 150

Označení nástroje	Typ držáku	Typ destičky	R	Poloha
0303	C4-MVJNL-27050-16	VNGG 160408 FS K5525	0,8	T2
0707	C4-PWLNL-27050-08	WNMG 080408 MS KC5510	0,8	T2
1111	C4-PWLNL-27050-08	WNMG 080408 MS KC5510	0,8	T3
0909	C4-PWLNL-27062-16	WNMGA 080408 T01020 KYS25	0,8	T2
0101	C4-PWLNL-27062-16	WNMGA 080408 T01020 KYS25	0,8	T3

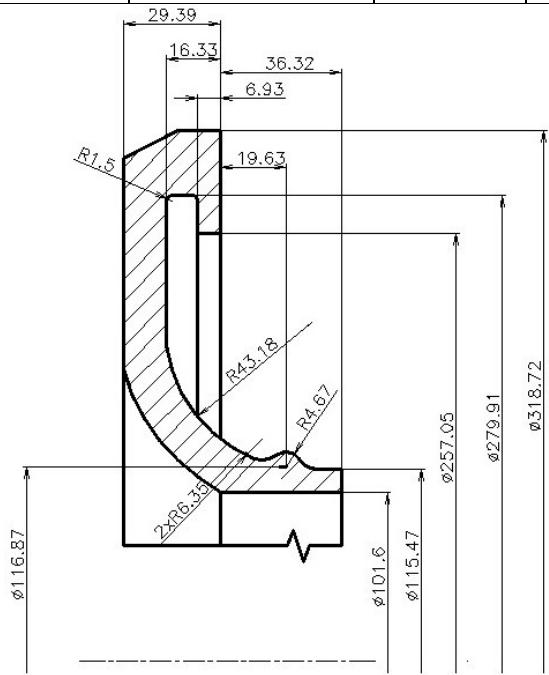
Tab. 5.11 Nástroje stávající výroby pro operaci 300

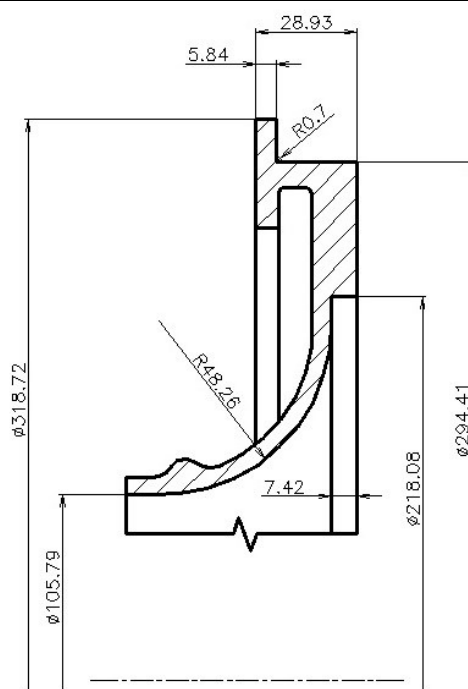
Označení nástroje	Typ držáku	Typ destičky	R	Poloha
0707	C4-MVJNR-27050-16	VNGG 160408 FS KC5525	0,8	T3
0909	C4-PWLNL-27050-08	WNMG 080408 MS KC5525	0,8	T3

5.3 Technologický postup pro dané operace výroby

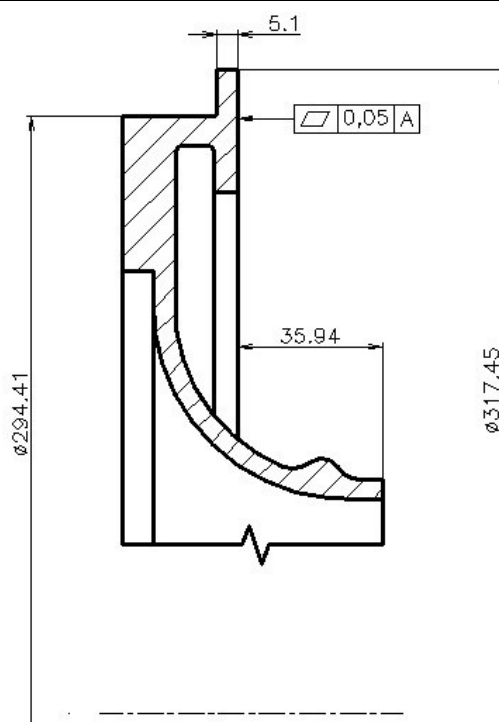
Vytvořený technologický postup má uvedeny pouze určité údaje. Je tomu tak učiněno z důvodu utajení detailních informací, které si firma Honeywell nepřeje zveřejňovat. Z toho důvodu nejsou v technologickém postupu rozměry obrobku a popis práce přesně definovány. Uvedeny jsou pouze nástroje a řezné podmínky, které byly navrženy v rámci této bakalářské práce pro jednotlivé operace.

Tab. 5.12 Technologický postup

Operace Pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo, pomůcky	Řezné podmínky			Čas operace [min]
			v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	
100 74NCS01	1. Upnout polotovar 2. Soustružit dle daných rozměrů 3. Uvolnit dílec	SP 30 CNC Upínací čelisti: P33008202 Nástroj: 0101	300	0,1	0,6	592
						
150 74NCS01	1. Otočit a upnout součást 2. Soustružit dle daných rozměrů 3. Uvolnit dílec 4. Kontrola rozměrů	SP 30 CNC Upínací čelisti: P33008203 Nástroj: 0909, 0101	300	0,1	0,5	310



300 74NCS01	1. Upnout polotovar 2. Soustružit dle daných rozměrů 3. Uvolnit dílec 4. Kontrola rozměrů a geometrické tolerance	SP 30 CNC Upínací čelisti P33008204 Nástroj: 0909, 0101	70	0,15	0,3	64
----------------	--	---	----	------	-----	----



6 Technicko-ekonomické zhodnocení

Technicko-ekonomické zhodnocení je poslední část při racionalizaci technologie výroby dílce. Zhodnocení nám vyjadřuje zpětnou vazbu, do jaké míry byla racionalizace úspěšná a zda se úkol snížit náklady na výrobu splnil. V zásadě jsou dva způsoby, jak ušetřit náklady na výrobu. Jedním způsobem je zkrátit strojní časy výroby, kdy je úspora v podobě uvolnění daného stroje pro další výrobu. Druhou možností je úspora v podobě pořízení levnějších prostředků pro výrobu (levnější nástroje, či procesní kapalina a jiné). Je možná i kombinace obou těchto způsobů. Záleží především, co daný podnik upřednostňuje. V nadcházejících kapitolách budou zhodnoceny a porovnány jednotlivé operace, a také souhrnné výsledky, které znázorní celkovou roční úsporu výroby.

6.1 Porovnání nákladů stávající a nově navržené výroby

Porovnání stávající a nově navržené výroby bylo zpracováno z hlediska strojních časů dané operace a ceny nových a stávajících vyměnitelných břitových destiček. Tyto údaje byly ověřeny přímo na pracovišti při výrobě dílce. Údaje se mohou během výroby mírně lišit s přihlédnutím na zručnost operátora obsluhující stroj, či neočekávaná porucha nebo vada nástroje.

Při zjišťování ekonomických aspektů výroby bylo vycházeno z hodinových sazeb platných v provozech firmy Honeywell. Hodinová sazba na provoz stroje činí 623 Kč. Ceny VBD nejsou na přání firmy zveřejňovány. Pro jednotlivé operace bude tedy uvedena pouze spotřeba dané destičky a výsledný cenový rozdíl nákladů stávající a nově navržené výroby. Zadaného dílce se ročně se vyrobí 94 kusů. Výpočet roční úspory za vyměnitelné břitové destičky a úspory za provoz stroje byl proveden pomocí uvedených obecných vztahů:

Roční náklady VBD [Kč]:

$$= \text{cena VBD [Kč]} \cdot \text{spotřeba VBD [VBD/dílec]} \cdot \text{počet dílců za rok [ks]}$$

Roční úspora VBD [Kč]:

$$= \text{roční náklady stávající VBD [Kč]} - \text{roční náklady nové VBD [Kč]}$$

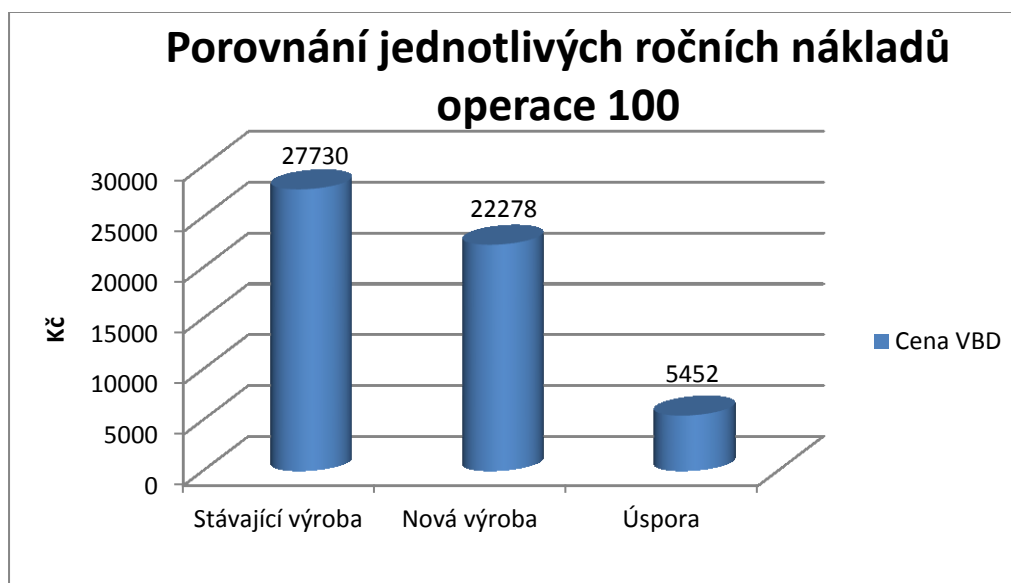
Roční úspora provozu stroje [Kč]:

$$= \left(\frac{\text{čas nastavení [min]} + \text{strojní čas [min]}}{60} \right) \cdot \text{hodinová sazba stroje [Kč/h]} \cdot \text{počet dílců [ks]}$$

6.1.1 Porovnání nákladů operace 100

Z důvodů, které byly popsány již v kapitole návrhu nástrojů, je změna v této operaci pouze ve formě záměny kruhové keramické destičky. Ta byla původně dodávána firmou NTK Cutting Tools a nyní je od firmy Kennametal. Nově navržená VBD vydrží stejné řezné rychlosti jako stávající. Proto budou zachovány stejné řezné podmínky, což znamená úspor pouze ve formě snížení výrobních nákladů, díky nižší ceně VBD.

Spotřeba stávající i nově navržené VBD je totožná: 1 VBD / dílec



Obr. 6.1 Graf porovnání jednotlivých ročních nákladů pro operaci 100

Cena za provoz stroje je nepodstatná, protože dané strojní časy zůstávají stejné. Z jednoduchého výpočtu tedy vyplývá, že roční úspora první operace činí **5 452 Kč**.

6.1.2 Porovnání nákladů operace 150

U výpočtu operace 150 vzniká úspora strojního času a zároveň snížení spotřeby dvou nástrojů stávající výroby. To bylo umožněno díky přidání dvou VBD z řezné keramiky tvaru W – Trigon, které mají šest břitů.

Spotřeba VBD stávající operace výroby:

VNGG 160408 FS K5525:	1 VBD / dílec
WNMG 080408 MS KC5510 (0707):	2 VBD / dílec
WNMG 080408 MS KC5510 (1111):	1 VBD / dílec

Celkové roční náklady VBD stávající operace výroby: 96 914 Kč

Spotřeba VBD nové operace výroby:

VNGG 160408 FS K5525:	1 břit / dílec
WNMG 080408 MS KC5510 (0707):	1 břit / dílec
WNMG 080408 MS KC5510 (1111):	1 břit / dílec
WNMGA 080408 T01020 KYS25 (0909):	2 VBD / dílec
WNMGA 080408 T01020 KYS25 (0101):	4 břity / dílec

Celkové roční náklady VBD nové operace výroby: 78 960 Kč

Provoz soustruhu SP 30 CNC v operaci 150:

Stávající čas nastavení: 45 min

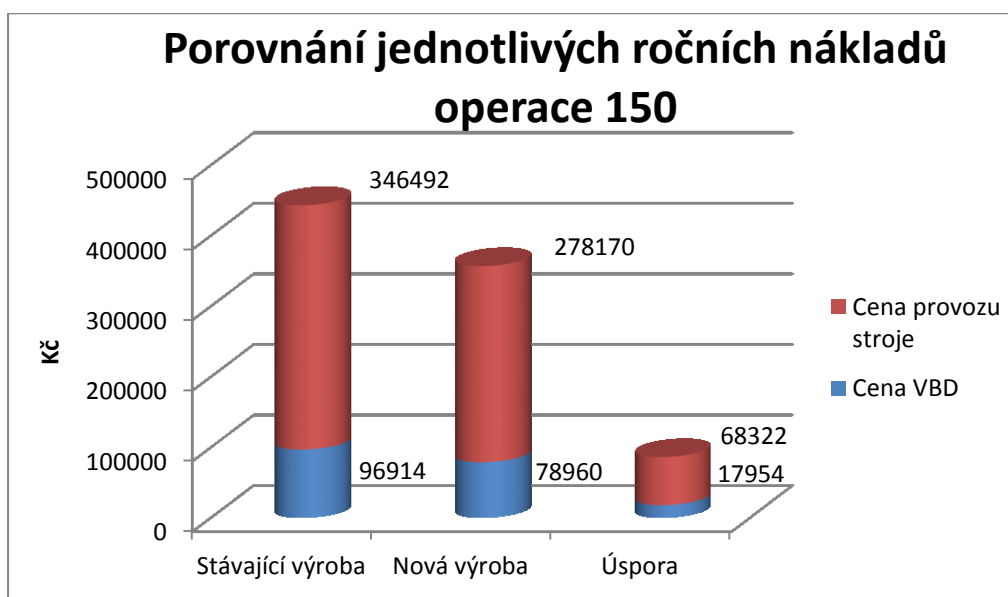
Stávající strojní čas: 310 min

Roční náklady na provoz stroje ve stávající operaci výroby: 346 492 Kč

Nový čas nastavení: 45 min

Nový strojní čas: 240 min

Roční náklady na provoz stroje v nově navržené operaci výroby: 278 170 Kč



Obr. 6.2 Graf porovnání jednotlivých ročních nákladů pro operaci 150

Za nákup nově navržené sestavy destiček se u této operace ročně ušetří 17 954 Kč. Cena za provoz stroje je při nově navržené operaci výroby levnější ročně o 68 322 Kč, z důvodu úspory strojního času o cca 110 hod. Po sečtení úspor za provoz stroje a nákupu destiček je daná operace výroby levnější o **86 276 Kč**.

6.1.3 Porovnání nákladů operace 300

V operaci 300 byl přidán jeden nástroj. Nová VBD má tvar Trigon se šesti břity. Více břitů zaručuje delší životnost břitové destičky pro danou operaci. Působení této VBD v dané operaci snižuje také spotřebu stávajícího nástroje, kterým již nejsou obráběny veškeré rozměry.

Spotřeba VBD stávající výroby:

VNGG 160408 FS K5525: 1 VBD / kus

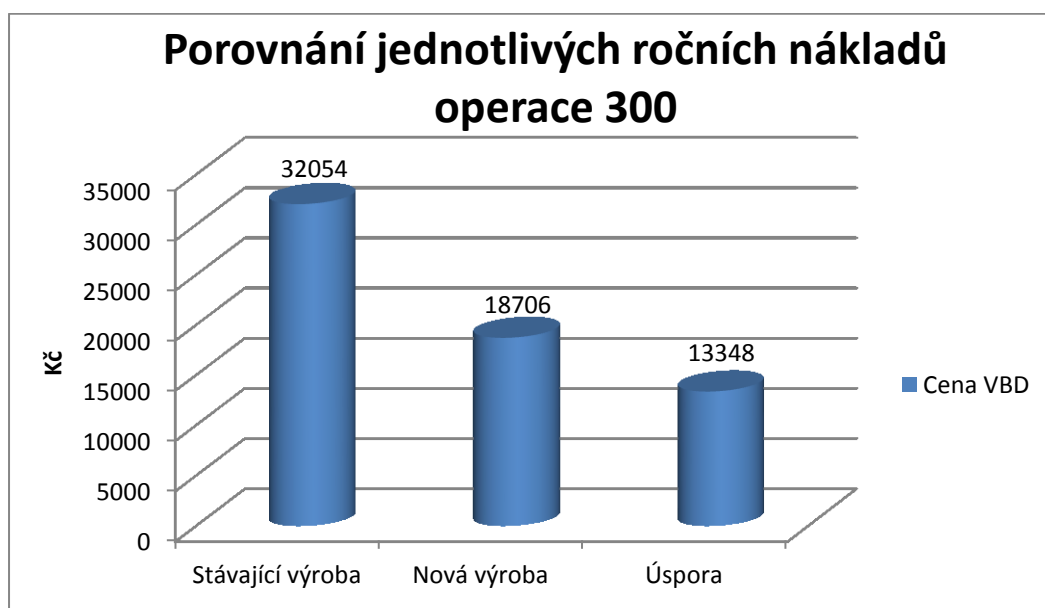
Celkové roční náklady VBD stávající operace výroby: 32 054 Kč

Spotřeba VBD nové výroby:

VNGG 160408 FS K5525: 1 břit / kus

WNMG 080408 MS KC5525: 3 břity / kus

Celkové roční náklady VBD nové operace výroby: 18 706 Kč



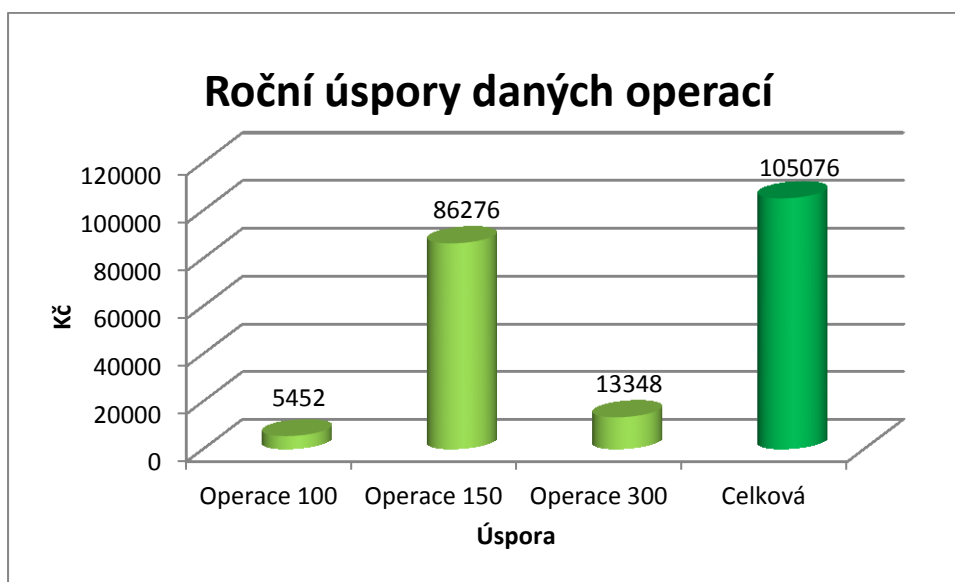
Obr. 6.3 Graf porovnání jednotlivých ročních nákladů pro operaci 300

Cena za provoz stroje je nepodstatná, protože dané strojní časy zůstávají stejné. Za nákup nově navržené sestavy destiček se ročně ušetří **13 348 Kč**.

6.2 Celkové výsledky úspor nově navržené výroby

Souhrnné výsledky úspor nově navržené výroby jsou vyhodnoceny ze tří výše uvedených hrubovacích operací (100, 150 a 300). Po jednotlivých výpočtech jednotlivých ročních nákladů daných operací je nyní možné celkově vyhodnotit výši úspor pro výrobu zadaného dílce - difuzoru.

Na grafu (Obr. 6.4) je zřejmé, že největší úspora vznikla u operace 150. Hlavní příčinou bylo především zkrácení strojního času, které má mnohem větší vliv na celkové náklady výroby, než návrh nástrojů s nižší pořizovací cenou. Díky přidání dvou šestibřitých keramických destiček, se kromě zkrácení strojního času, snížila i spotřeba dosud používaných VBD. Pomyslné druhé a třetí místo ve snižování nákladů patří racionalizaci operace 300 a 100, u kterých nevznikla již zmiňovaná úspora strojního času. Společnost Honeywell má u těchto dvou operací, s poměrně velkým rizikem deformace dílce, pevně stanoveny řezné podmínky, které nedovolují jejich úpravu. Nižších výrobních nákladů bylo dosaženo pořízením levnějších VBD umožňujících obdobné řezné podmínky nebo přidáním dalšího vhodného nástroje do technologického postupu. Ten zaručí snížení spotřeby stávajících VBD pro výrobu daného dílce.



Obr. 6.4 Graf Ročních úspor daných operací

Po sečtení dílčích úspor u všech tří operací z grafu (Obr. 6.4) vyplývá, že celková úspora pro roční náklady na výrobu difuzoru činí 105 076 Kč. To znamená snížení jednotlivých nákladů všech tří operací, v porovnání se stávající výrobou, téměř o 21%.

Závěr

Předkládaná bakalářská práce se zabývala racionalizací výroby leteckého dílce difuzoru se zaměřením na vybrané operace soustružení v podmínkách firmy Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. Racionalizace byla zaměřena na návrh nových řezných nástrojů vyhovujících pro obrábění niklových slitin a stanovením nových řezných podmínek.

V úvodní části práce byl proveden teoretický rozbor superslitin, jejich využití a popis problémů vznikajících kvůli zhoršené obrobitelnosti. V teoretické části byly, z hlediska druhu řezného materiálu a geometrie břitu, popsány vhodné nástroje pro obrábění těchto slitin. Následně byla popsána stávající technologie výroby zadaného dílce. V ní se definovaly veškeré parametry výrobního stroje a řezných nástrojů, dále se blíže specifikovala obráběná součást. Nakonec se uvedl sled operací výroby pro znázornění návaznosti mezi vybranými operacemi určené pro racionalizaci.

V praktické části byly blíže specifikovány veškeré náležitosti spojené s výrobou, jako je volba stroje, řezných nástrojů a definování řezného prostředí. Po rozboru stávající technologie výroby dílce byly navrženy jednotlivé řezné nástroje z katalogů výrobců nástrojů. Pro nově navržený postup výroby dílce byly dále stanoveny nové řezné podmínky za účelem zkrácení výrobních časů. Z důvodu snahy o zrychlení výroby a zvýšení trvanlivosti břitu, se volily VBD z řezné keramiky. Ty dovolují vyšší řezné rychlosti a díky vhodným povlakům je zvýšena jejich životnost. Návrh nových vyměnitelných břitových destiček byl, po zvážení všech kritérií, proveden z katalogu firmy Kennametal. Tato firma poskytla nejvýhodnější VBD pro obrábění zadaného dílce ze žáruvzdorné slitiny.

V závěrečné části bakalářské práce bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení všech tří zadaných operací podle ekonomických ukazatelů firmy Honeywell. Zhodnocení a následné porovnání stávající a nově navržené výroby bylo nejprve provedeno pro každou operaci zvlášť. Zadané operace byly posuzovány z hlediska výrobních časů a výrobních nákladů. Na konci byly tyto jednotlivé výsledky shrnuty v podobě celkových ročních úspor, které vznikly racionalizací daných operací výroby.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Tomášovi Zlámalovi z Katedry obrábění a montáže VŠB – TUO za odborné vedení a poskytování cenných rad v celém průběhu vypracovávání bakalářské práce. Zvláštní poděkování patří také Ing. Václavu Šlitrovi z firmy Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. za odborné konzultace a podmětné připomínky, díky kterým byla tato práce zdárně dokončena.

Seznam použité literatury

- [1] ŠAJDLEROVÁ, I. *Organizace a řízení. Cvičení II.* 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-0962-1
- [2] NESLUŠAN, Miroslav; CZÁN, Andrej. *Obrábanie titánových a niklových zliatin.* 1. vyd. Žilina: EDIS Žilinská univerzita, 2001. 193 s. ISBN 80-7100-933-4
- [3] DARECKÝ, Janusz. *Superzliatiny niklu a ich obrábanie.* Žilina: EDIS Žilinská univerzita, 2001. 107 s. ISBN 80-7100-785-4
- [4] BUMBÁLEK, B.: Rozdělení těžkoobrobitelných materiálů a hodnocení jejich obrobitelnosti. Zborník z vedecko-technickej konferencie „Obrábanie ťažkoobrábateľných materiálov, Bratislava: DT ČSVTS, 1979
- [5] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ Jana at al. *Technologie II. 2. díl.* 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 150 s. ISBN 978-80-248-1822-1. Dostupné z:
<http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf>
- [6] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů, 1. část.* 1.vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB - TU Ostrava, 1999. 148 s. ISBN 80-7078-624-8
- [7] SLABÝ, Ondřej. *Sestavení technologie rotační součásti z materiálu Inconel v podmínkách firmy Frencken.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009, 33 stran. Vedoucí práce: Ing. Milan Kalivoda. Dostupné z:
<https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/9943/2009_BP_Ond%C5%99ej%20Slab%C3%BD_98881.pdf?sequence=1>
- [8] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje.* Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2
- [9] HANOUSEK, P. *Cermety a jejich efektivní využití.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 54 s. Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Anton Humár, CSc. Dostupné z:
<http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37881>
- [10] ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování.* Praha: BEN – technická literatura, 2008. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7

- [11] CHLUMOVÁ, S. *Společnost Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o.*. Přednáška. Hlubočky – Mariánské Údolí: Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o., 29. 10. 2013
- [12] SADÍLEK, M. *Obrábění – Vliv prostředí na procesu obrábění*. Přednáška. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 17. 9. 2013.
- [13] Honeywell: *About Honeywell* [online]. [cit. 2013-11-29]. Dostupné z: <<http://honeywell.com/Pages/Home.aspx>>
- [14] Technické normy ČSN: *ČSN ISO 513 (220801)* [online]. [cit. 2014-03-08]. Dostupné z: <http://www.technicke-normy-csn.cz/220801-csn-iso-513_4_74938.html>
- [15] Sandvik Coromant: *Home Page* [online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <<http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx>>
- [16] Sandvik Coromant: *Obrobitelnost - definice* [online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/machinability_definition/pages/default.aspx>
- [17] Sandvik Coromant: *ISO S HRSA a titan* [online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_s_hrsa_titanium/pages/default.asp>
- [18] JERSÁK, J. *Technologie III - Obrábění: Navrhování hospodárných řezných podmínek při obrábění* [online]. [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: <http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_nhrp.pdf>
- [19] Strojnet: *CZ TECH produkční soustruh SP 30 CNC* [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <<http://novinky.strojnet.cz/clanek/11/>>
- [20] CZ.TECH - CNC stroje Čelákovice: *SP 30 CNC* [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <<http://www.cztech.cz/index.php/cz/sp-30-cnc>>
- [21] NTK Cutting Tools: *Ceramic products - Stock list* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.daikoh.co.th/product/ntk/NTK-General_Ceramic.pdf>

- [22] Kennametal: *Soustružení - Katalog 8010 CZ* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.jan-havelka.cz/cd_katalog/CD_katalogy/PDF/Kennametal_anglicka_verze/Soustruzeni/Soustruzeni_8010_CZ.pdf>
- [23] ISCAR Cutting Tools: *Metal Working Tools* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <<http://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=6404388&fnum=208&mapp=TG&GFSTYP=M>>
- [24] Seco Tools: *Home Page* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <<http://www.secotools.com>>
- [25] FWT GmbH - Feinwerktechnik Bingen: *External Turning Toolholder* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <<http://www.fwt-gmbh.de/en/Cutting-tools/Turning-tools/Drehhalter-fuer-die-Aussenbearbeitung/External-toolholders-negative-inserts/toolholder-DVJNR/External-Turning-Toolholder-negativ-DVJNR-2525-M16.html&language=en>>
- [26] Aircraft Materials: *Nickel Alloy - Inconel 718 (UNS N07718)* [online]. [cit. 2014-04- 8]. Dostupné z: <<http://www.aircraftmaterials.com/data/nickel/718.html>>
- [27] BIBUS - Supporting your success: *Niklové slitiny* [online]. [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: <http://new.bibus.cz/pdf/Special_Metals/Nikl/Niklove_slitiny.pdf>
- [28] Cimcool Fluid Technology: *Home Page* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.cimcool.net/cs_CZ/home.html>
- [29] Kennametal: *Sústruženie s FixPerfect – Inovácie 2012* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <<http://www.trigon.sk/wp-content/uploads/Sustruzenie-Inovacie-2012.pdf>>
- [30] Seco Tools: *TURN UP THE HEAT - New grades for turning heat resistant alloys* [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/CorpWeb/Products/Turning/General_turning/st20086176_ts2000_ts2500_gb_lr.pdf>